

SÉRIE A, N° 262

N° D'ORDRE :

286

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

PAR

R. WARNECKE

- 1^{re} THÈSE.** — RECHERCHES SUR L'ÉMISSION D'ÉLECTRONS
SECONDAIRES PAR UNE SURFACE DE TANTALE
DANS LA RÉGION DES RAYONS X MOUS.
2^e THÈSE — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 28 Juin 1933, devant la Commission d'Examen

MM. EUGÈNE BLOCH	:	<i>Président</i>
A. GUILLET	:	} <i>Examineurs</i>
E. DARMOIS	:	

PARIS

AMÉDÉE LEGRAND, ÉDITEUR

93. BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 93

—
1933

SÉRIE A, N° 262

N° D'ORDRE :

286

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

PAR

R. WARNECKE

- 1^{re} THÈSE.** — RECHERCHES SUR L'ÉMISSION D'ÉLECTRONS
SECONDAIRES PAR UNE SURFACE DE TANTALE
DANS LA RÉGION DES RAYONS X MOUS.
2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le Juin 1933, devant la Commission d'Examen

MM. EUGÈNE BLOCH	.	<i>Président</i>
A. GUILLET	.	} <i>Examineurs</i>
E. DARMOIS	.	

PARIS
AMÉDÉE LEGRAND, ÉDITEUR
93, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 93

—
1933

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM

Doyen

Doyen honoraire...

Professeurs

honoraires

C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.

M. MOLLIARD.

H. -E CHATELIER.

H. LEBESGUE.

A. FERNBACH.

A. LEDUC.

E. GOURSAT

P. JANET

F. WALLERANT

P. PAINLEVÉ

M. CAULLERY

Émile BOREL

H. ABRAHAM

M. MOLLIARD

E. CARTAN

Gabriel BERTRAND

Jean PERRIN

L. LAPICQUE

M^{me} P. CURIE

G. URBAIN

L. MARCHIS

E. VESSIOT

A. COTTON

J. DRACH

Charles FABRY

R. LESPIEAU

P. PORTIER

Charles PÉREZ

É. BLAISE

P.-A. DANGEARD

Léon BERTRAND

E. RABAUD

G. JULIA

Paul MONTEL

V. AUGER

P. WINTREBERT

O. DUBOSCQ

Eugène BLOCH

N.

L. LUTAUD

Henri VILLAT

Ch. JACOB

P. PASCAL

E. ESCLANGON

H. BÉNARD

C. MAUGUIN

L. BLARINGHEM

A. GUILLIERMOND

A. DENJOY

A. DUFOUR

H. BÉGHIN

De BROGLIE

G. RIBAUD

Émile PICARD.

Rémy PERRIER.

Léon BRILLOUIN.

A. DEREIMS.

Analyse supérieure et algèbre supérieure.

Électrotechnique générale.

Minéralogie.

Mécanique analytique et mécanique céleste.

Zoologie (Évolution des êtres organisés).

Calcul des probabilités et Physique mathém.

Physique.

Physiologie végétale.

Géométrie supérieure.

Chimie biologique.

Chimie physique.

Physiologie générale.

Physique générale et radioactivité.

Chimie générale.

Aviation.

Théorie des fonctions et théorie des transformations

Physique générale

Application de l'analyse à la géométrie.

Physique.

Théories chimiques.

Physiologie comparée.

Zoologie.

Chimie organique.

Botanique.

Géologie structurale et géologie appliquée.

Biologie expérimentale.

Calcul différentiel et calcul intégral.

Mécanique rationnelle.

Chimie appliquée.

Anatomie et histologie comparées.

Biologie maritime.

Physique théorique et physique céleste.

Étude des combustibles.

Géographie physique et géologie dynamique.

Mécanique des fluides et applications.

Géologie.

Chimie minérale.

Astronomie.

Mécanique expérimentale des fluides.

Minéralogie.

Botanique.

Botanique (P. C. N.).

Mathématiques générales

Physique (P. C. N.).

Mécanique physique et expérimentale.

Théories physiques.

Hautes températures.

Professeurs



E. PÉCHARD

A. GUILLET

M. GUICHARD

A. MICHEL-LÉVY

H. MOUTON

L. DUNOYER

M. JAVILLIER

ROBERT-LÉVY

A. DEBIERNE

E. DARMOIS

G. BRUHAT

F. PICARD

L. JOLEAUD

M. FRÉCHET

M^{me} RAMART-LUCAS

Chimie (Enseigt P. C. N.)

Physique.

Chimie minérale.

Pétrographie.

Chimie physique.

Optique appliquée.

Chimie biologique.

Zoologie.

Radioactivité.

Physique.

Physique.

Zoologie (Évolution des êtres organisés).

Paléontologie.

Calcul des Probabilités et Physiques mathématiques.

Chimie organique.

FOCH

PAUTHENIER

VILLEY

LABROUSTE

FREUNDLER

PRENANT

P. JOB

CHRÉTIEN

BOHN

COMBES

GARNIER

PÉRÉS

LAUGIER

TOUSSAINT

HACKSPILL

M. CURIE

Mécanique expérimentale des fluides.

Physique (P. C. N.).

Mécanique physique et expérimentale.

Physique du Globe.

Chimie (P. C. N.).

Zoologie.

Chimie générale.

Optique appliquée.

Zoologie (P. C. N.).

Sciences natur. (P. C. N.).

Mécanique rationnelle.

Mécanique des fluides.

Physiologie générale.

Technique aéronautique.

Chimie (P. C. N.).

Physique (P. C. N.).

Secrétaire

Secrétaire honoraire

A. PACAUD

D. TOMBECK.

A MA MÈRE, A MON PÈRE,

A MA FEMME

RECHERCHES SUR L'ÉMISSION D'ÉLECTRONS SECONDAIRES PAR UNE SURFACE DE TANTALE DANS LA REGION DES RAYONS X MOUS

Par R. WARNECKE

INTRODUCTION

Lorsque, dans le vide, un électron vient heurter une surface métallique, il est réfléchi ou il subit une collision non élastique dans laquelle il perd une partie plus ou moins grande de son énergie initiale, dont on retrouve une fraction, *à l'extérieur de la cible bombardée*, comme énergie cinétique d'électrons secondaires. La production d'électrons, à partir de métaux soumis à un bombardement électronique, par l'intermédiaire d'un mécanisme qui, au moins en partie, est tout autre qu'une réflexion plus ou moins complexe, a fait l'objet pendant ces dernières années de nombreuses recherches expérimentales. A partir des résultats obtenus, le professeur Richardson (1) (2) a donné une théorie du phénomène dans laquelle sa relation avec l'émission et l'absorption de rayonnement X par le métal bombardé, intervient en premier lieu. D'autre part, quelques auteurs dont Farnsworth (3), ont trouvé dans des expériences récentes, un rapport entre l'émission secondaire totale et les effets de diffraction de Davisson et Germer.

La base expérimentale qui permet initialement ces rapprochements est *l'observation dans les courbes d'émission secondaire de potentiels critiques*.

Notamment, la relation du phénomène avec l'émission du rayonnement X mou par le métal étudié, repose sur le fait que, dans les courbes d'émission d'électrons secondaires et d'émission du rayonnement X en fonction de la tension d'accélération des électrons de bombardement, il existe des potentiels critiques en accord étroit. Ce résultat est particulièrement important, parce que, preuve d'un mécanisme commun entre les deux phénomènes, il est d'une part, l'une des bases fondamentales des explications théoriques données par Richardson (1) (2) et par Rudberg (4) et d'autre part, parce que, comme le montre Chalkin (5) l'examen des courbes de l'émission secondaire totale devient alors un moyen d'investigation précieux au sujet de l'émission du rayonnement X mou des métaux.

Ceci soulignant l'intérêt de l'observation des potentiels critiques d'émission secondaire et de la connaissance de leurs valeurs pour chaque métal, il nous faut signaler, *sans nous occuper du mécanisme qui peut agir pour les provoquer* et en nous plaçant uniquement au point de vue de leur *réalité expérimentale comme caractéristique du métal*, que leur existence montrée par Pétry (6) (7), discutable après certaines expériences de Farasworth (8) (9) (10), semblait définitivement confirmée par les expériences très précises de Krefft (11) et de Ramachandra Rao (12). Tout dernièrement *cette existence vient d'être mise en doute* à nouveau par Ahearn (13) qui, dans une étude effectuée dans des conditions semblant excellentes, *conclut à attribuer au moins un grand nombre des potentiels critiques trouvés dans les courbes d'émission secondaire, plutôt à une contamination de la surface qu'à un phénomène caractéristique du métal propre.*

L'état de propreté d'une surface, dans un vide aussi bon que celui que l'on sait réaliser à l'heure actuelle, est intimement lié aux propriétés de sorption du métal qui la constitue. Il est donc logique de penser que par suite des propriétés de

fixation des gaz spéciales au Ta, une étude de l'émission secondaire de ce métal puisse apporter quelques renseignements nouveaux au sujet du problème posé plus haut.

La présente étude fut entreprise bien avant la publication du travail de Ahearn en ayant comme but l'étude générale de l'émission secondaire du Tantale sur les bases de ce qui avait été fait par Krefft pour le W et par Rachamandra Rao pour le Ni.

Nous signalerons qu'à notre connaissance aucun travail sur l'émission secondaire du Tantale n'a été publié jusqu'ici, si ce n'est quelques informations déjà anciennes de M. Baltruschat et H. Starke (14) et qui d'ailleurs, ne sont que peu en relation avec les questions traitées spécialement ici.

CHAPITRE PREMIER

Appareils employés

Plusieurs appareils furent utilisés au cours des études préliminaires et définitives, mais ils ne diffèrent que sur des points de détail et ils sont du principe de celui décrit par Krefft dans son étude sur le Tungstène.

La fig. 1 donne le schéma de principe de l'appareil et de l'installation des mesures électriques.

La cathode F_1 émet des électrons qui sont accélérés vers le disque A, sous l'effet de la différence de potentiel appliquée entre ces deux électrodes. Quelques-uns de ces électrons sont lancés, à travers l'orifice du canon B, vers la cible, avec la vitesse correspondant à la différence de potentiel existant entre celle-ci et la cathode, le canon étant lui-même au potentiel de la cible.

Un champ retardateur est produit entre A et B par une différence de potentiel $V_A - V_B > 0$, il sert à retenir l'émission secondaire de A lors du choc des électrons du faisceau constituant le courant I_A .

En dimensionnant convenablement les ouvertures de A et de B ($d_A < d_B$) et en prenant un canon très court, le nombre des trajectoires d'électrons primaires se terminant sur la surface interne du canon est très petit et l'on obtient par suite un faisceau le traversant et arrivant sur la cible en ne contenant que très peu d'électrons secondaires lents venant de ce canon,

c'est-à-dire en quantité bien insuffisante pour masquer les accidents caractéristiques du métal étudié pouvant être rencontrés dans la variation de l'intensité de l'émission secondaire avec l'énergie de bombardement, ou pour en introduire de nouveaux d'intensité comparable.

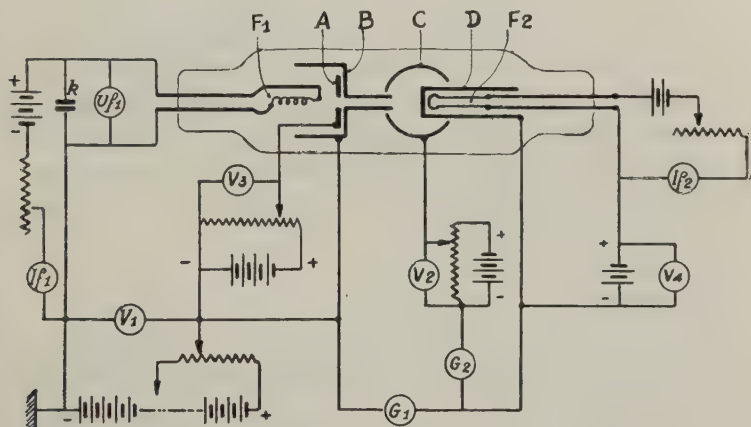


Fig. 1

De nombreux essais furent effectués sur des montages différents avant de commencer les expériences définitives, en particulier avec des appareils très voisins de ceux de Farnsworth et de Ramachandra-Rao. Il nous a semblé que, en fin de compte, d'une façon générale, le montage de Krefft était le plus intéressant à cause de sa simplicité entraînant une grande facilité de chauffage des électrodes par bombardement électronique et induction $H. F.$, ce qui a une importance capitale. D'autre part, quelques mesures complémentaires effectuées par la suite ont montré que les appareils utilisés ne possèdent que relativement peu (du fait de leur dimensionnement

convenable les inconvénients signalés par Ahearn pour le montage de Krefft.

S est la cible étudiée ; elle constitue le fond d'un cylindre D, au milieu duquel on place le filament F_2 qui sert pendant le pompage pour la chauffer par bombardement et pendant les mesures pour la chauffer par rayonnement.

On a donné à l'électrode collectrice C une forme sphérique afin qu'il soit possible d'obtenir entre elle et le point d'impact sur la cible, un champ symétrique uniforme dans toutes les directions non déformé sur les bords de la cible quand un champ retardateur est appliqué entre elle et la sphère. Ce champ est en général rendu faiblement accélérateur pour rassembler tous les électrons secondaires éparpillés autour de la normale à la cible S.

Réalisation des électrodes des tubes I et II. — Le disque A est en molybdène d'épaisseur 30/100 mm. son diamètre est de 29 mm. et il est percé en son centre d'un trou circulaire de 2 mm. 2.

L'électrode B est un cylindre en nickel de 35 mm. de hauteur et de 40 mm. de diamètre, dont le fond supporte un canon de diamètre intérieur de 2 mm. 8 et de longueur 1 cm. L'extrémité de ce petit canon taillée en biseau pénètre de 1 mm. 5 à 2 mm. à l'intérieur de la sphère C. Sa surface interne est sablée pour diminuer son émission secondaire ⁽¹⁾.

La sphère C, également sablée intérieurement, est en nickel d'épaisseur 20/100 mm., son diamètre est de 55 mm.

Le cylindre D est en tantale de 15/100 mm. d'épaisseur, son diamètre est de 12 mm. et sa hauteur de 35 mm., il supporte la cible à étudier S.

Cette cible a été découpée dans une plaque polie de métal pur

(1) C'est un fait pratiquement connu que la rugosité d'une surface diminue son émission secondaire, ceci résultant probablement du fait que les électrons émis sont repris par les aspérités du métal sablé.

à cristallisation fine fournis par la Société Siemens et Halske elle a une épaisseur de 12/100 mm., son diamètre est de 14 mm. et elle est maintenue sur le cylindre D par quelques points de soudure électrique sur les bords.

Les cathodes F_1 et F_2 sont en Ta de façon à éviter la contamination de la cible par leur évaporation. Les diamètres de F_1 et de F_2 sont respectivement 300/1000 et 375/1000 mm. F_1 a la forme d'un solénoïde et F_2 d'une spirale plate.

Imperfections et erreurs systématiques. — 1^o Quelques-uns des électrons secondaires émis par S peuvent atteindre l'extrémité du canon B malgré qu'un champ faiblement accélérateur en faveur de C existe entre cette électrode et la cible bombardée. L'erreur introduite est due à ce que, pratiquement, ce champ doit être pris de faible valeur pour ne pas étaler le faisceau primaire et pour ne pas donner aux électrons secondaires venant de S une vitesse trop élevée, ce qui leur permettrait de produire eux-mêmes une émission secondaire appréciable lors de leur choc sur C.

Le nombre de ces électrons susceptibles de retourner vers le canon B est relativement très réduit car l'angle solide intéressé par le trou dans lequel débouche le canon est très faible vis-à-vis de la surface de la sphère collectrice et d'autre part, parce que, malgré sa faible valeur, le champ produit entre S et C est suffisant pour que C attire la plus grande partie des électrons venant de S et partant de cette électrode dans la direction normale à sa surface.

2^o Malgré le champ retardateur produit entre A et B, quelques électrons secondaires lents provenant de A s'ajoutent au flux électronique constituant le faisceau primaire, leur nombre diminue si on augmente la valeur du champ retardateur comme l'a indiqué Krefft. De plus, cette augmentation a également pour effet de rendre le faisceau qui traverse le disque A plus étroit et par suite de diminuer le nombre d'électrons du faisceau qui peuvent toucher la partie intérieure du

canon B, c'est-à-dire de diminuer l'émission secondaire du canon qui, toutes choses égales par ailleurs, augmente d'une part avec l'énergie de choc (c'est-à-dire avec la vitesse primaire) et d'autre part avec le nombre de chocs pouvant se produire (c'est-à-dire avec le nombre d'électrons primaires).

Au total, le faisceau primaire aboutissant sur la cible ne contient que très peu d'électrons lents provenant des chocs contre les différentes parties des écrans A et B. Ceci est montré directement par l'examen des courbes de la fig. 2 qui représentent la variation du nombre N_2 d'électrons secondaires émis par N_1 électrons primaires, en fonction de ce nombre N_1 pour des potentiels primaires constants et égaux à 25, 50, 100 et 300 volts. Quoiqu'elle soit faible, cette diminution de $\frac{N_2}{N_1}$ quand N_1 croît (qui ne semble être due qu'aux émissions secondaires parasites en question, déforme très légèrement les courbes $\frac{N_2}{N_1} = f(V_1)$ en les aplatissant, car par construction du tube, N_1 augmente avec V_1 : ceci n'est pas de grande importance dans notre travail, parce que cette action est, d'une part, toujours faible et parce que, d'autre part, à l'échelle à laquelle elle peut agir, elle est pratiquement continue, quand V_1 croît d'une façon continue.

Par contre, cette influence pourrait être extrêmement nuisible en introduisant des flexions illégitimes de grandeur appréciable dans $\frac{N_2}{N_1} = f(V_1)$, si l'on trouvait dans la variation de N_1 avec V_1 des changements d'intensité brusques et importants, introduits soit par une caractéristique du tube (répartition du champ), soit par une cause accidentelle (variation du chauffage de la cathode, de $V_A - V_B$, etc...). La première cause n'existe pas avec notre appareil et pour éliminer les conséquences des secondes, toujours possibles, nous avons examiné soigneusement toutes les courbes $N_1 = f(V_1)$ en même temps que les courbes $\frac{N_2}{N_1} = f(V_1)$.

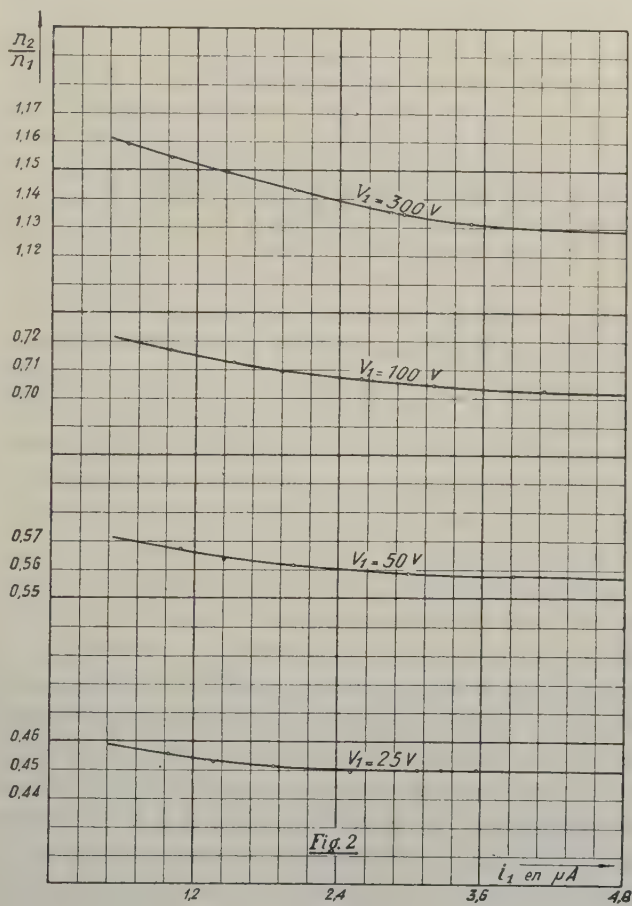


Fig. 2

Courbes $\frac{n_2}{n_1} = f(i_1)$

CHAPITRE II

Préparation des expériences

Dans la construction des appareils, on s'est efforcé d'obtenir un ensemble *dont toutes les parties puissent être*, autant que cela est pratiquement possible, *très bien dégazées, de telle façon que*, un degré très élevé de vide étant obtenu par un pompage prolongé, *la contamination de la cible, après scellement, due à l'échange de gaz entre celle-ci et les autres parties solides, soit la plus réduite possible.*

Le tube lui-même est en verre dur permettant l'étuvage de l'ensemble à haute température (500°).

Les électrodes en nickel et en molybdène ont été préparées séparément de la cible. Après un nettoyage chimique énergique, pour faire disparaître toutes les impuretés qu'il est ainsi possible d'éliminer, elles ont été chauffées préliminairement dans un très bon vide pendant plus de 80 heures à une température de 1.150°C environ pour le nickel et 1.300°C pour le molybdène. Après montage avec la cible traitée comme il sera dit plus loin, le pompage définitif fut effectué. Il a consisté essentiellement à chauffer séparément, puis ensemble :

a) Pendant plus de 40 heures au total, le charbon activé servant d'absorbant, à une température atteignant rapidement 460°C ;

b) l'ensemble du tube et de la jauge électronique qui lui est

raccordé avec l'appendice contenant le charbon activé, dans un four à 500°C pendant une durée totale de plus de 40 heures :

c) successivement, puis ensemble, toutes les électrodes métalliques du tube à aussi haute température que cela était pratiquement possible (pour les parties en molybdène 1400-1500°C, pour le nickel, 950°C seulement afin d'éviter la contamination de la cible par évaporation).

Ce chauffage est réalisé, soit par bombardement électronique intense des électrodes, soit par induction haute fréquence. On alterne toutes ces opérations en élevant progressivement la température et en s'imposant la condition de ne jamais dépasser une pression de 5×10^{-5} mm. Hg ;

d) *la cible comme il sera indiqué plus loin.*

A la fin du pompage, qui dure environ 10 jours (jour et nuit) la pression, les électrodes étant rouges ainsi que la cible, est inférieure à 10^{-6} mm. Hg, *avant de mettre l'air liquide autour du charbon.*

Le pompage est effectué au moyen d'une pompe à palettes dans l'huile et d'une pompe à condensation de vapeur de Hg système Langmuir. Deux pièges avec condenseurs à air liquide sont employés, l'un pendant toute la durée du pompage, l'autre seulement pendant les dernières heures. L'air liquide est placé autour du charbon de bois pendant le dernier traitement de la cible ; on l'y maintient *pendant et après scellement* jusqu'à la fin des mesures.

Le vide est mesuré par une jauge électronique étalonnée constituée par une triode calibrée ; le courant d'ionisation (courant inverse de plaque) donne la pression par la relation $p = k.i$.

Le vide est conservé après scellement au moyen de 8 gr. de charbon activé et bien dégazé comme nous l'avons dit plus haut ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Ce charbon nous a été fourni par la Société « L'Air Liquide ». Avant d'être employé, il avait été dégazé dans un très bon vide pendant plus de 100 heures par chauffage à 450° C.

Le charbon a été choisi de préférence à d'autres corps parce qu'il

Après scellement, la pression tombe en quelques heures à environ 3×10^{-8} mm. Hg ⁽¹⁾ et conserve cette valeur aussi longtemps que durent les mesures, ceci la cible étant froide ou chaude ⁽²⁾.

Mesures électriques. — Les courants primaire et secondaire sont mesurés par une méthode de compensation partielle avec un galvanomètre à haute sensibilité Hartmann et Braun. Ce galvanomètre est placé alternativement dans les circuits primaire et secondaire, grâce à un commutateur à mercure qui change en même temps le courant de compensation de la quantité nécessaire pour chacun des circuits.

On remarquera dans le schéma de l'installation électrique en outre des éléments dont la destination est évidente, un condensateur électrolytique k de grande capacité (10.000 ufd. destiné à éliminer les fluctuations du courant de chauffage fourni par une batterie d'accumulateurs de très grande capacité.

Une différence de potentiel V_4 porte le filament F_2 à un potentiel supérieur à celui de la cible, de façon que les électrons de cette cathode ne puissent pas s'immiscer dans les mesures à chaud. Cette précaution fut trouvée insuffisante car on a constaté, lorsque le filament F_2 était allumé, qu'un courant électronique important atteignait l'électrode collectrice C. Ramachandra-Rao a également observé un phénomène ana-

est un absorbant à froid et que par suite il n'y a pas crainte de contamination par évaporation lente (thorium, tungstène thorié) ou par volatilisation rapide (baryum, magnésium etc.).

⁽¹⁾ Cette faible valeur de la pression est tout à fait de l'ordre de celle obtenue dans des expériences semblables par KREFFT, AHEARN etc, et est en bon accord avec les résultats de J. S. BACON cités, par DUSHMAN (*Journal of the Franklin Institute*, n° 1266, vol. CCXI, juin 1931) qui trouve 3×10^{-9} mm. Hg en partant de 10^{-5} mm Hg,

⁽²⁾ La variation de pression due au chauffage de la cible dans nos expériences était très faible et ne put pas être appréciée au moyen de la variation du courant d'ionisation de la jauge.

logue et on doit penser qu'il s'agit des électrons émis par F_2 et qui, repoussés par le cylindre, parviennent à la sphère.

Au cours des mesures à des températures élevées, il fut également trouvé l'émission électronique ordinaire du Tantale chaud. Des corrections furent effectuées pour tenir compte de ces sources d'erreurs qui venaient troubler les mesures de l'émission secondaire véritable.

V_1 est la différence de potentiel primaire mesurée par rapport à l'extrémité négative du filament F_1 au moyen d'un voltmètre à cadre mobile de grande sensibilité.

$V_3 = V_A - V_B$ est la différence de potentiel qui produit le champ retardateur entre A et B.

V_2 est la différence de potentiel qui produit le champ accélérateur pour les électrons secondaires entre S et C.

Pour le tube II où furent effectuées plus spécialement les expériences décrites ici, les valeurs de ces paramètres étaient :

$$V_2 = + 4^v, \quad V_3 = + 55^v, \quad V_4 = + 20^v.$$

Température de la cible. — En la visant à 45^0 , par le petit trou percé dans ce but dans la sphère collectrice, au moyen d'un pyromètre optique à disparition de filament ⁽¹⁾, on a mesuré les températures de brillance de la cible quand toutes les électrodes sont en place et dans les conditions de vide de fonctionnement.

On a déterminé les températures vraies à partir des températures de brillance grâce à l'échelle donnée par Worthing (15).

Note : Par comparaison, il fut approximativement tenu compte de l'absorption du verre qui, par suite de la distillation du Ta inévitable aux très hautes températures de bombardement, n'était pas négligeable.

Précision des mesures des courants primaires et secondaires — erreurs. — Les courants primaires et secondaires sont de

(1) Pyromètre à disparition de filament Foster.

l'ordre de 2 à 5 microampères (sauf dans la région des très faibles vitesses où un chauffage exagéré de la cathode aurait été nécessaire pour obtenir de telles valeurs). Le galvanomètre a une sensibilité de 60×10^{-10} A par mm. à un mètre, il est employé à 2 mètres. Grâce à un dispositif de projection très lumineux, le spot sur l'échelle transparente employée, était si net qu'on pouvait lire sans aucune difficulté le 1/5 de mm. : ce chiffre représente par suite l'erreur maximum de lecture qu'il est possible de commettre sur la mesure d'un courant, ce qui correspond pour la mesure de celui-ci à une erreur relative maximum de : $\frac{3 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^{-1}}{2 \times 10^{-5}} = 3/10.000$. Sur le

rapport $\frac{N_2}{N_1}$, l'erreur relative maximum commise doit donc être dans le cas le plus défavorable, du 6/10.000 de sa valeur.

Nous verrons plus loin que les cassures auxquelles nous avons attribué une existence réelle, dans ce travail, sont nettement plus importantes. L'une des plus faibles semble être celle que l'on peut déceler sur la courbe 151 de la fig. 10. Comme pour tous les autres accidents, son existence est montrée par de nombreux points ; or, l'augmentation brusque de la pente, seulement *entre 2 points successifs*, correspond déjà à une augmentation du rapport $\frac{N_2}{N_1}$ de 3/1000, c'est-à-dire que cette augmentation est environ 5 fois plus grande que l'erreur que l'on peut commettre au maximum à partir des lectures.

Avec le galvanomètre placé à 2 mètres et grâce au système de compensation employé, la déviation maximum du spot sur l'échelle était suffisamment petite, d'une limite d'un intervalle à l'autre, pour que l'erreur due à la non-proportionnalité du galvanomètre ne soit pas susceptible de fausser les résultats ; c'est d'ailleurs cette condition qui a déterminé la grandeur des intervalles de mesure.

Le courant de compensation est donné par une source constante qui était dans nos expériences, soit une pile Daniell, soit un accumulateur fonctionnant dans la partie sensiblement

droite de sa caractéristique de décharge. Nous n'avons employé qu'un seul galvanomètre : ceci n'est pas un désavantage, au contraire, car on élimine ainsi les erreurs pouvant provenir de l'étalonnage relatif des éléments nombreux constituant le circuit du galvanomètre ; il est vrai que l'on introduit en même temps une difficulté, par le fait qu'il peut y avoir une petite variation des courants à mesurer entre les instants voisins où l'on opère dans chaque circuit. Pour compenser cet inconvénient, nous avons encadré la mesure du courant secondaire i_2 de deux mesures du courant primaire i_1' et i_1'' et adopté pour valeur du rapport $\frac{N_2}{N_1}$ le chiffre donné

$$\text{par } \frac{2i_2}{i_1' + i_1''}$$

Chaque courant est obtenu à partir de trois déviations (d_1 dans un sens, d_2 dans l'autre, et d_3 dans le premier) pour tenir compte des déplacements de zéro; la déviation dont la valeur entrait dans les calculs était $d = \frac{d_1 + 2d_2 + d_3}{4}$.

CHAPITRE III

Obtention des courbes $\frac{N_2}{N_1} = f(v_1)$. — Résultats.

Des essais préparatoires furent effectués avec le tubé raccordé à la pompe ⁽¹⁾ ou séparé de celle-ci pour trouver le traitement convenable de la cible. Ce dernier fut jugé satisfaisant lorsque sa prolongation n'a plus apporté de modification sensible aux résultats.

Il fut ainsi empiriquement déterminé que, dans les conditions de nos expériences, le fait de pouvoir porter la cible à 2.300° k., sans que la pression monte dans l'appareil à plus de 3×10^{-6} mm. Hg et avant que l'air liquide soit mis autour du charbon, correspondait à un état de surface tel qu'une prolongation de 4 heures du chauffage à cette température ne fasse pas varier $\frac{N_2}{N_1}$ de plus de 1,5 % pour $V_1 = 300$ v. et il fut constaté en même temps qu'à partir de cette époque les courbes $\frac{N_2}{N_1} = f(V_1)$ étaient tout à fait semblables entre elles *et que*

(1) Parmi les essais effectués avec l'appareil non scellé, des résultats de bonne qualité furent obtenus grâce au degré de vide réalisé avec une pompe à condensation de vapeur d'huile suivie d'un condenseur à air liquide : une pression de 6×10^{-7} était réalisable avec la cible à 2.400°k au bout d'une vingtaine d'heures de bombardement de celle-ci.

même examinées dans le détail elles conservaient la même forme (les mesures étaient toutes faites à 1.200° k.).

Plus de 300 courbes $\frac{N_2}{N_1} = f(V_1)$ furent étudiées et 8 cibles furent examinées au cours des essais préparatoires et définitifs. Parmi ces derniers, des résultats obtenus sur deux cibles : Si. 18 et Si. 19, peuvent caractériser le phénomène et sont exposés en détail dans ce qui suit.

Traitement de la cible Si 18 — Tubes I et II. — *a)* Elle a été nettoyée dans un mélange d'alcool éthylique et d'éther sulfurique pour la débarrasser des films gras présents à la surface et lavée soigneusement à l'eau distillée.

b) Ensuite, elle a été chauffée lentement par bombardement électronique, dans un bon vide, jusqu'à 1.900° k., dans une ampoule auxiliaire.

c) Démontée, elle fut passée très rapidement dans un mélange étendu d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique pour éliminer les impuretés ayant pu diffuser à la surface pendant le traitement thermique précédent.

d) Ensuite, la cible a subi, dans une ampoule séparée, un chauffage préliminaire, par bombardement électronique d'une durée effective d'environ 65 heures, pendant lesquelles la température fut graduellement augmentée sans jamais que la pression ne dépasse 5×10^{-5} mm. Hg. La température maximum atteinte fut de 2.000° k. (la cible est restée à cette température pendant 8 heures environ) et la pression finale pour cette valeur était de 3×10^{-6} mm. Hg.

e) Enfin la cible fut montée dans l'appareil que nous numérotions I.

Celui-ci fut dégazé comme nous l'avons indiqué précédemment. Au cours du pompage, la cible Si 18 fut chauffée pendant plus de 80 heures, en augmentant progressivement la température et sans que la pression ne dépasse 3×10^{-5} mm. Hg. Pendant la moitié de ce temps, la température atteinte dépassa

sait 2.400° k, pendant plus de 40 heures elle atteignit même 2.300° k. La pression finale pour cette température était d'environ 4×10^{-6} mm. Hg. Cette valeur de la pression, relativement élevée, ne semblait d'ailleurs pas dûe aux gaz dégagés par la cible, mais plutôt à ceux émis par les autres parties solides et notamment par le verre à cause de la valeur relativement élevée de l'énergie rayonnée (1.000 watts).

Le dégazage étant terminé, la pression à l'intérieur de l'appareil, mesurée avec la cible à 1.500° k. (et avant que l'air liquide ne fut placé autour du charbon activé) était de l'ordre de 10^{-6} mm. Hg. Le tube fut scellé et des mesures furent effectuées avec la cible froide. Au moment de la chauffer, la cathode F_2 fut brûlée accidentellement : quelques résultats des mesures seront donnés.

Après cet accident, la cible Si 48 fut replacée dans le même appareil, avec d'autres filaments F_1 et F_2 ⁽¹⁾ (la durée de l'exposition de la cible à l'air fut au maximum de 3 heures, et toutes les précautions prises pour éviter pendant ce temps, autant que cela est possible, la contamination du métal). Ce tube II fut pompé d'une façon analogue au précédent et ses parties solides dégazées comme il a été indiqué plus haut.

En ce qui concerne la cible elle-même, elle fut portée graduellement (mais relativement rapidement parce que la pression le permettait) à une température de 2.000° k. La durée totale du chauffage spécial de la cible fut d'environ 50 heures, elle fut maintenue à une température supérieure à 2.000° k.

(1) Les électrodes de l'appareil II étaient donc les mêmes que celles de l'appareil I, (sauf les cathodes F_1 et F_2 qui n'avaient pas exactement la même longueur, car leur forme compliquée empêchait l'appréciation exacte de cette dimension, mais de plus une autre différence existait) ; les distances du disque A à la cathode F_1 et du disque B au disque A, étaient différentes dans les 2 tubes ; cela a une grande influence sur la répartition des courants entre la partie pleine de A et le petit trou percé en son centre, c'est-à-dire sur la répartition du courant total émis par le filament entre i_A et le courant primaire de bombardement de la cible.

pendant plus de 20 heures. Cette température dépassait 2.200° k. pendant plus de 15 heures et elle atteignit 2.350° k. (bien entendu par pointe) pendant une durée effective totale d'environ 3 heures. A cette dernière température la pression finale était d'environ 2×10^{-6} mm. Hg.

Le tube scellé, l'ensemble des mesures définitives put être effectué sans accident et dans les bonnes conditions de vide indiquées précédemment.

Traitement de la cible Si 19. — Tube III. Les électrodes du tube III sont exactement semblables à celles du tube précédent et de mêmes dimensions.

La seule différence de construction est que, ni l'intérieur du canon fixé en B, ni l'intérieur de la sphère ne sont sablés et que les distances $F_1A = X$ et $AB = Y$ sont légèrement différentes, le pompage fut conduit d'une façon analogue à celui de l'appareil précédent.

La cible fut montée dans le tube définitif après avoir été simplement lavée dans un mélange d'éther et d'alcool, aucun chauffage préliminaire et aucun traitement chimique n'ayant été effectués. Elle fut bombardée dans les conditions analogues à la cible Si. 18. La durée totale effective de son chauffage fut d'environ 60 heures. Pendant 20 heures environ la température fut maintenue au voisinage de 2.000° k. puis pendant plus de 15 heures à 2.400° k. environ; enfin des pointes furent effectuées comme pour la cible précédente à une température atteignant 2.450° k.

Résultats obtenus avec la cible Si 18 dans l'appareil II. — MODE OPÉRATOIRE. — Pour suivre l'influence de la charge en gaz de la cible sur son émission secondaire, des courbes ont été relevées, toutes choses égales par ailleurs, à des époques éloignées et à différentes températures.

Suivant les conditions où les mesures furent effectuées, nous avons classé les courbes en plusieurs catégories :

1^o *Courbes A* : Ces courbes furent relevées après scellement du tube, la cible étant froide (température de l'appareil) et sans qu'elle n'ait subi aucun traitement supplémentaire.

2^o *Courbes B* : Elles furent relevées quand toutes les courbes A furent terminées, la cible étant portée à une température de 1.400° k.

3^o *Courbes C* : Une courbe C fut relevée immédiatement après une courbe B, la cible étant froide.

4^o *Courbes D* : Ces courbes furent relevées après la dernière courbe C, la cible étant à une température de 1.400° k.

5^o *Courbes E* : Une courbe E fut relevée immédiatement après une courbe D, la cible étant froide.

PRÉCAUTIONS EXPÉRIMENTALES. — Pendant toutes les mesures, la pression fut mesurée très soigneusement, elle fut trouvée pratiquement invariable dans les limites de sensibilité de notre jauge.

Dans chaque catégorie, plusieurs courbes furent prises dans le même intervalle, pour avoir une certitude plus grande des accidents rencontrés.

Toutes les courbes tracées représentent $\frac{N_2}{N_1}$ en fonction de l'indication du voltmètre V_1 ; c'est-à-dire en fonction de la tension primaire par rapport au négatif du filament. Pendant tout ce qui suit, nous conserverons cette notation et nous n'effectuerons la correction pour la chute de tension le long du filament que lors de la discussion de nos résultats.

Dans chaque intervalle, on s'est efforcé de faire les mesures avec les mêmes courbes $N_1 = f(V_1)$. Néanmoins, des différences existent toujours entre elles : Les écarts proviennent de l'insuffisance des moyens de réglage et de contrôle de la température de la cathode, ainsi que des variations de son émission qui sont trouvées, avec le temps, à température constante.

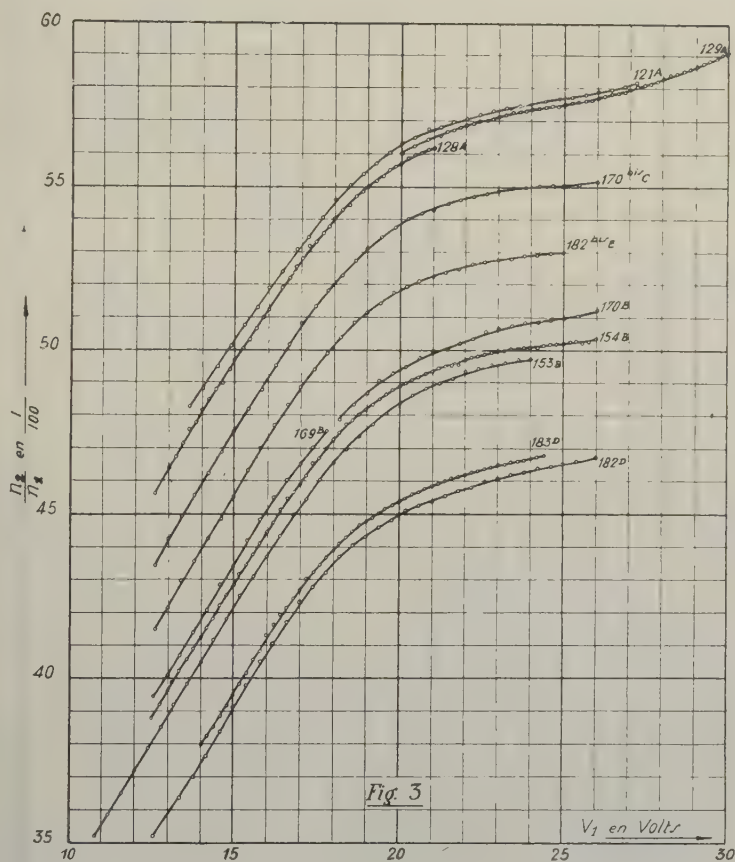
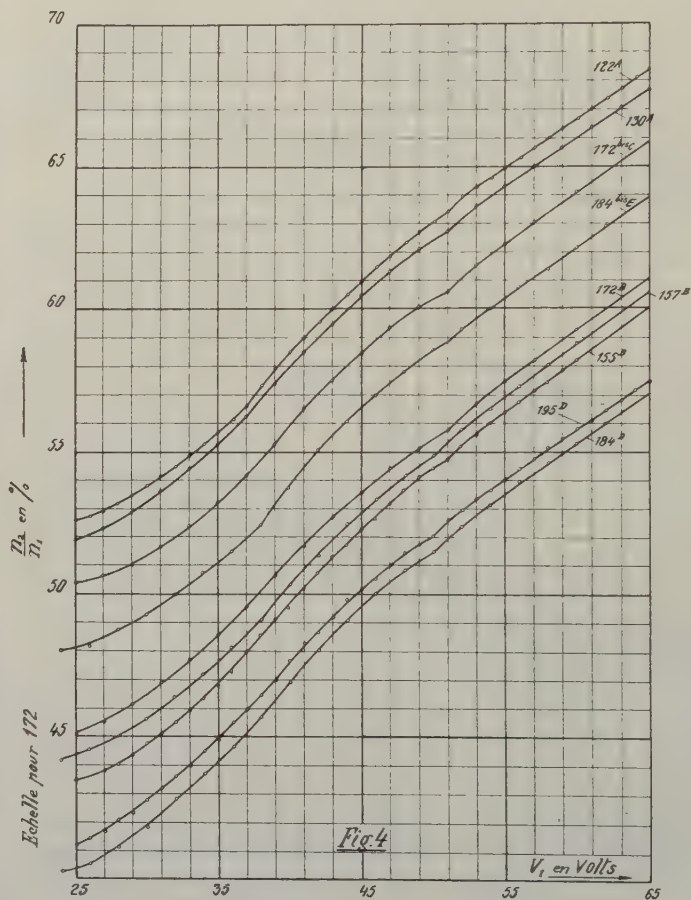


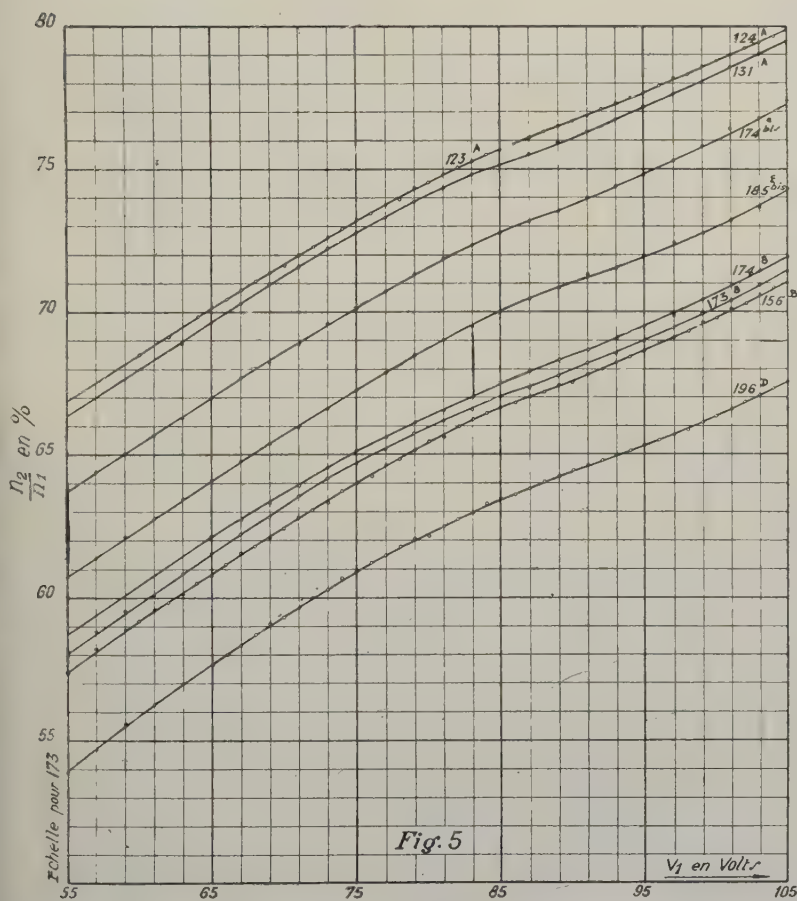
Fig. 3

Pour 121 retrancher aux ordonnées : 12.7/100
 " 128 " " " 12 /100
 " 129 " " " 12.3/100
 " 170^{bi} " " " 10 /100
 " 182^{bi} " " " 8/100
 " 169 " " " 6/100

Pour 170 retrancher aux ordonnées : 6.3/100
 " 154 " " " 5.5/100
 " 153 " " " 5.3/100
 " 183 " " " 2.5/100
 " 182 " " " 2 /100

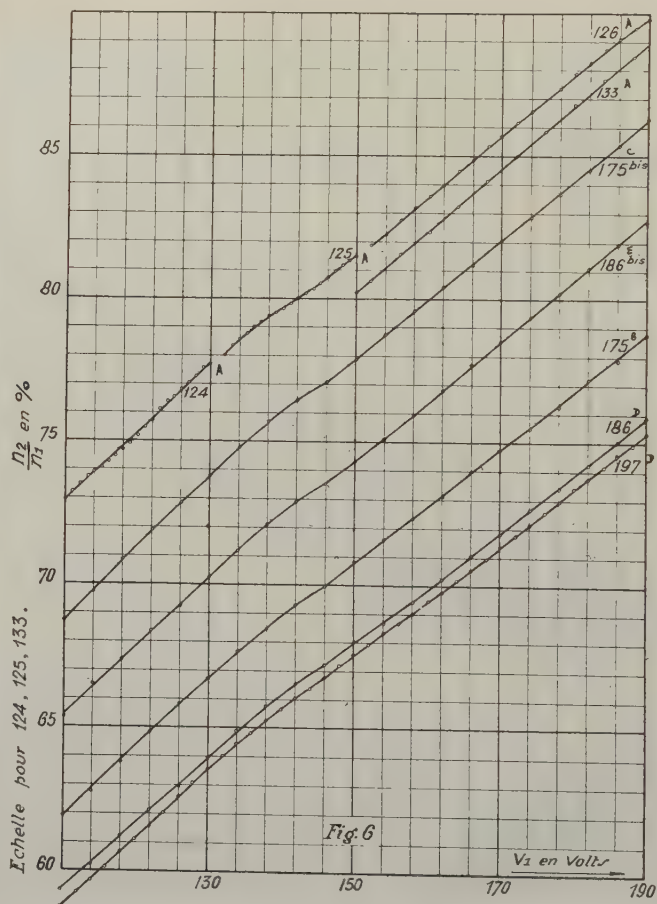


Pour 122 retrancher aux ordonnées	7	Pour 157 ajouter aux ordonnées	0.6
" 130 " " "	6.2	" 155 " " "	2.1
" 172 ^A " " "	5	" 195 " " "	4
" 184 ^A " " "	3	" 184 " " "	4



Pour 123 retrancher aux ordonnées 8,4
 124, 131 " " " 8
 174 bis " " " 6
 185 bis " " " 3

Pour 156 ajouter aux ordonnées 0,6
 " 196 " " " 4
 " 174 retrancher " " 0,3



Pour 126 retrancher aux ordonnées	0,6	Pour 175 ajouter aux ordonnées	10
" 175 bis ajouter " " "	3	" 186 " " " "	13
" 186 bis " " " "	7	" 197 " " " "	15

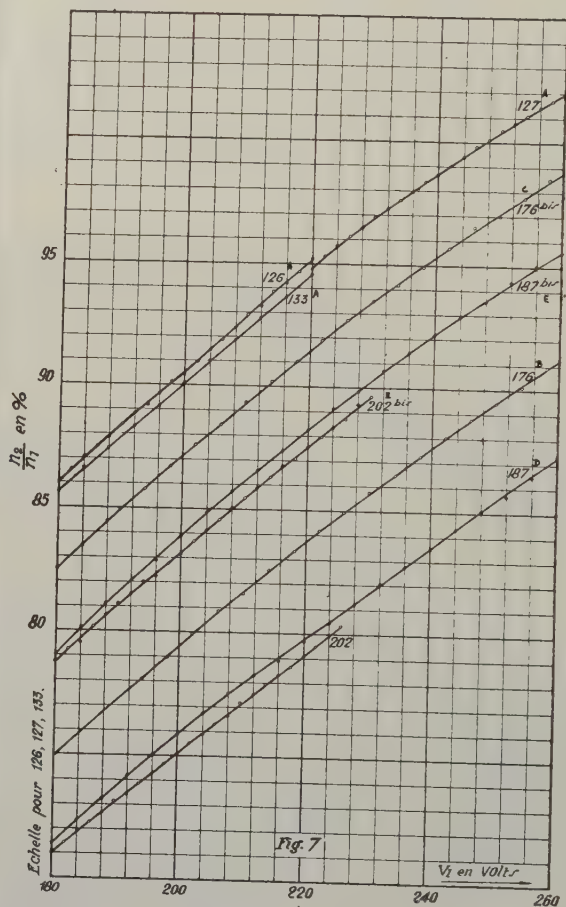
En passant d'un intervalle de tensions primaires au suivant, nous avons baissé la température de la cathode de façon à ce que N_1 reste dans les limites relativement rapprochées quand on augmente V_1 . Cela a l'avantage d'empêcher un trop grand nombre de chocs contre l'intérieur du canon. Le faisceau conserve alors une homogénéité constante au cours de toutes les mesures de telle façon que celles-ci sont effectuées avec la même exactitude et la même sensibilité. Par contre, cela a l'inconvénient d'empêcher les courbes de se raccorder mais ceci est peu important pour notre travail.

ALLURE GÉNÉRALE DES COURBES ET POSSIBILITÉ DE LES REPRODUIRE. — Nous pensions obtenir pour le Ta, à cause de ses propriétés remarquables de fixation des gaz, des variations importantes d'émission secondaire avec le temps et avec la température.

Contrairement à ceci, la comparaison de plusieurs courbes d'une même catégorie, relevées à des époques assez éloignées et le rapprochement des courbes des diverses catégories indiquées plus haut, ne montrent aucune différence importante de forme et de grandeur d'ordonnées pour la cible Si. 18 dans l'appareil II.

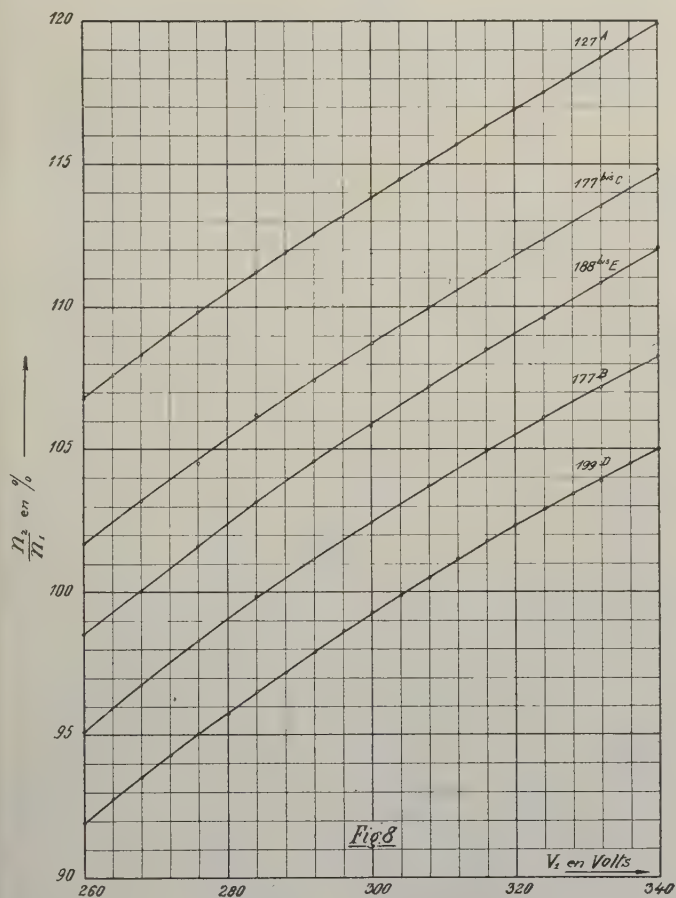
Pour permettre d'en juger, plusieurs courbes A sont données dans les fig. 3, 4 et 5 et afin de mesurer cette faculté relative de reproduction ainsi trouvée à froid, nous indiquerons, à titre d'exemple, que les ordonnées correspondantes des courbes 128 et 129 de la fig. 3 ne diffèrent pas au maximum de plus de 0,88 % de celles de la courbe 121 alors qu'elles ont été relevées respectivement 48 et 52 heures environ après celles de cette courbe.

Des résultats analogues sont trouvés sur la fig. 4 (0,22 % de différence maximum entre les ordonnées de 122 et 130 pour un intervalle de temps de 48 heures) sur la fig. 5 (0,88 % de différence) et sont obtenus dans la région des potentiels accélérateurs plus élevés.



Pour 176 ^{bir}	ajouter aux ordonnées	4
187 ^{bir}	"	8
202 ^{bir}	"	9

Pour 176	ajouter aux ordonnées	17
187	"	18
202	"	18,5



Pour 127 retrancher aux ordonnées 5
 " 177^{bis} ajouter " " 2

Pour 188^{bis} ajouter aux ordonnées 6
 " 177 " " " 8
 " 199 " " " 12

TABLEAU 1

Variation relative $\frac{\Delta \frac{N_2}{N_1}}{\frac{N_2}{N_1}}$ des ordonnées
avec le temps et la température
pour la cible Si.18 dans le tube II

	1	2	3	4	5	6
10-30°	-0,88%	+2,3 %	+0,44 %	+1,9 %	+0,22%	+0,55 %
30-55°	-0,22%	+0,44 %	+1,85 %	+2,3 %	+0,66%	+1,19 %
55-105°	+0,88%	+0,4 %	+1,1 %	+2,2 %	+0,14%	+1,13 %
110-190°	+1,51 %	-1,16 %	+1,6 %	+0,56%	-0,49 %	+0,82%
180-260°	+0,68%	-1,9 %	-0,93%	-2,46%	-0,72 %	-2,05%
260-340°	+1 %	+1,4 %	+0,48 %	-1,15 %	-0,87%	-2,65%
320-480°	+0,78%	-1,6 %	-2,33 %	-1,37 %	-1,2 %	-2,67%
440-600°	+0,97%	-1,1 %	-2,5 %	+1,15 %	-0,66%	-2,78%

- 1 Différence relative max. $\frac{A_1 - A_2}{A_1}$ entre la première courbe A_1 relevée dans l'intervalle et une autre courbe A_2 relevée 48 heures environ après.
- 2 Différence relative max. $\frac{A_6 - B_1}{A_6}$ entre la dernière des courbes A précédant le chauffage à 1100° et la première des courbes B relevées dans la région étudiée (en général A_6 est relevée à 24 h de B_1)
- 3 Différence relative max. $\frac{A_6 - C}{A_6}$ entre la courbe A_6 précédente et la courbe C correspondante à la dernière des courbes B.
- 4 Différence relative max. $\frac{C_6 - D_1}{C_6}$ entre la dernière des courbes C_6 avant chauffage à 1400° et la première des courbes D.
- 5 Différence relative max. $\frac{C_6 - E_1}{C_6}$ entre la courbe C_6 précédente et la première des courbes E.
- 6 Différence relative max. $\frac{A_1 - E_6}{A_1}$ entre la première courbe A_1 relevée dans l'intervalle et la dernière courbe E correspondante.

Lorsque la cible est chauffée, soit à 1.100° k. (B), soit à 1.400°k. (D), les différences maxima trouvées entre les ordonnées sont du même ordre.

Une évaluation de l'importance des modifications apportées à l'intensité de l'émission secondaire de la cible par le temps et par les chauffages à 1.100° k. et à 1.400° k. est approximativement chiffrée par le tableau I qui donne la différence relative maximum des données des courbes.

La colonne 1 indique pour toutes les régions de tension étudiées, la différence maximum trouvée entre les ordonnées correspondantes de la première des courbes A relevée après scellement de l'appareil et d'une courbe A prise environ 48 et 50 heures après celle-ci.

Dans la colonne 2, il est montré de la même façon que le traitement à 1.100° k. n'introduit, pendant qu'il est effectué, aucune variation très sensible de la grandeur de l'émission secondaire puisque la différence maximum des ordonnées entre la dernière des courbes A et la première des courbes B correspondante (prise en général 24 à 38 heures après) est très faible et ne dépasse pas 2,3 %.

Dans la colonne 3, les conséquences du traitement sont évaluées par la différence relative maximum entre les ordonnées de la dernière des courbes B pendant le traitement à 1.100° k. et la courbe C correspondante : le fait qu'elle ne dépasse pas 2,5 % est le signe que ce traitement n'a eu aucune influence appréciable sur l'état du métal.

La colonne 4 indique la différence relative maximum entre la dernière courbe C et la première courbe D, c'est-à-dire l'influence du traitement à 1.400° k. *pendant cette opération* et la colonne 5 fournit le même renseignement pour les conséquences de ce chauffage pour la cible froide par la différence relative entre les courbes C la précédant et E la suivant.

Les chiffres de 2,46 % et de 1,2 %, respectivement trouvés, indiquent le peu d'effet du chauffage à 1.400°k pendant et après qu'il est fait, sur l'émission secondaire de la cible.

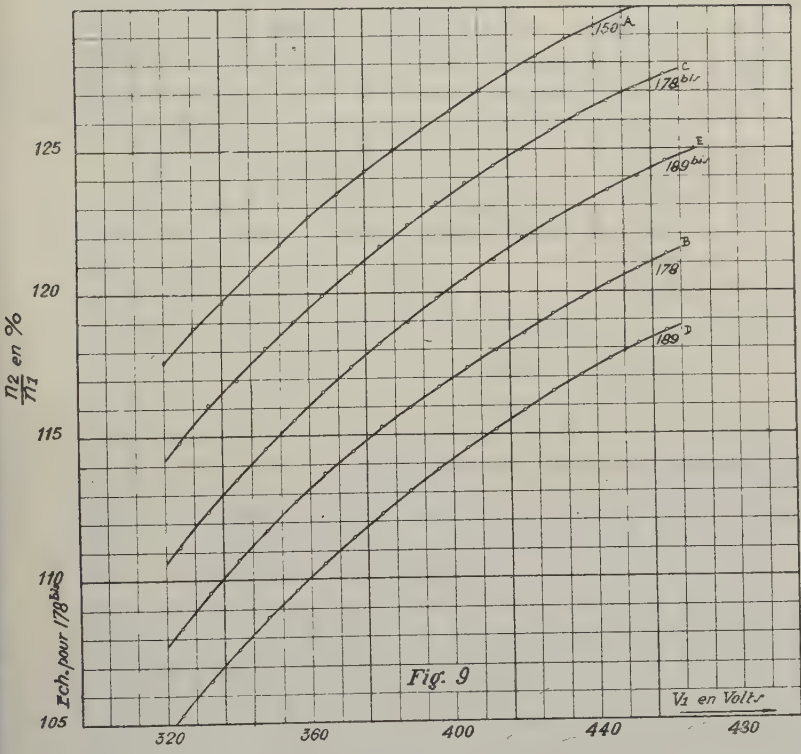
Enfin la colonne 6 résume l'effet global du temps et la conséquence des traitements thermiques sur la cible froide, par rapport à l'état initial de celle-ci, après que le tube a été détaché de la pompe. Étant donné que cette différence n'est pas au maximum de plus de 2,78 % alors qu'elle est relative à des courbes relevées à froid à des époques distantes de 15 jours environ et séparées par de nombreux *chauffages successifs* à 1100°k. et à 1.400°, on peut conclure que l'état de la surface de la cible est resté sensiblement le même pendant toutes les mesures.

ACCIDENTS DE VARIATION DANS LES COURBES $\frac{N_2}{N_1} = f(V_1)$.

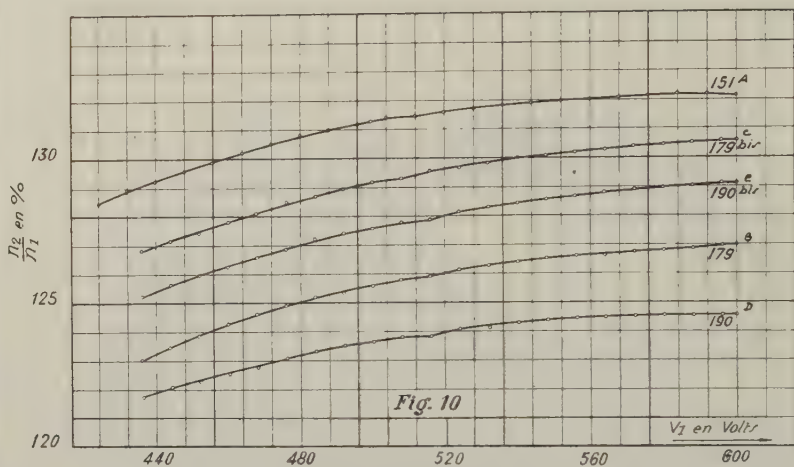
— Nous avons constaté plus haut qu'aucun changement important n'a été introduit dans l'allure des courbes par le temps et par la température. Néanmoins leur examen détaillé et précis montre des petites différences qui doivent être imputées à l'action des gaz. Des accidents de très faible importance sont quelquefois visibles sur certaines courbes mais ne sont pas reproductibles. En général après le chauffage à 1.100° k., ils ont disparu et celui à 1.400° k. n'apporte pas de changement plus important. A côté de ces accidents qui perdent de leur importance jusqu'à disparaître complètement, d'autres sont visibles sur les courbes qui semblent s'accroître avec le traitement thermique : c'est à ces derniers seuls que nous accorderons une signification physique réelle.

La région des faibles vitesses jusqu'aux environs de 15 v. sera étudiée spécialement au chapitre vi.

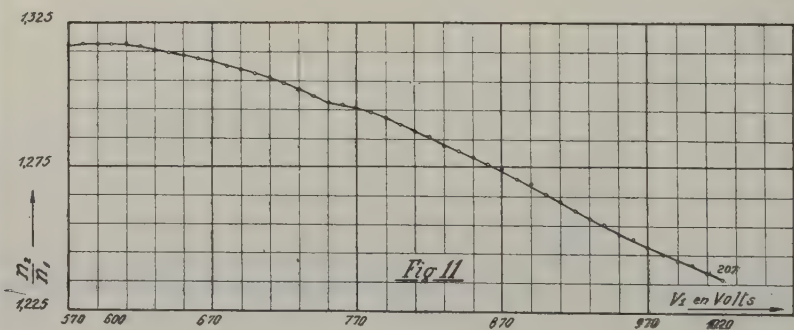
Après une croissance linéaire, un affaiblissement de la pente est indiqué nettement sur toutes les courbes de la fig. 3 vers $V_1 = 17$ v. A 25, v. environ, dans les fig. 3 et 4, on trouve une première augmentation de pente, pour les courbes A à laquelle le temps et les traitements ne changent absolument rien. Il en est de même pour les changements brusques de pente voisins de 38 v. et de 50 v. Les courbes de la fig. 5 possèdent toutes une augmentation de pente vers 88 v.



Pour	150	retrancher	aux	ordonnées	6
"	189.5	ajouter	"	"	5
"	178	"	"	"	6
"	189	"	"	"	11



Pour	151	retrancher	aux	ordonnées	6
"	179 ^{bir}	"	"	"	0,5
"	190 ^{bir}	ajouter	"	"	2
"	179	"	"	"	3
"	190	"	"	"	4



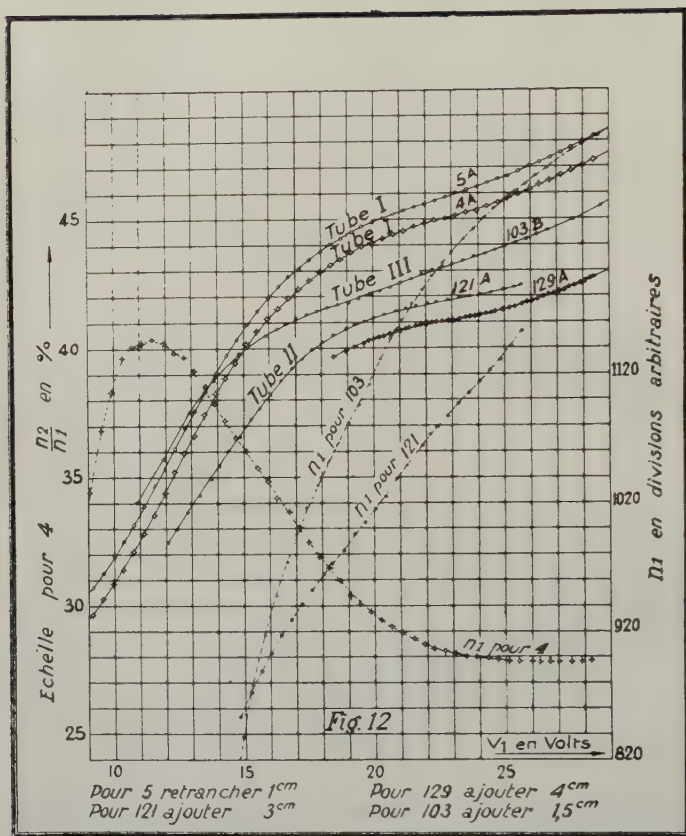
Dans l'intervalle illustré par la fig. 6, une variation de pente brusque est indiquée nettement vers 146 v. sur toutes les courbes. De plus, on peut situer, d'après les points expérimentaux sur la première courbe A relevée, la cible étant froide, un léger accident vers 118 v. Comme il nous fut impossible de le retrouver par la suite, nous avons pensé qu'il s'agit ici d'un accident introduit par des gaz présents à la surface de la cible. Une remarque semblable peut être faite pour une très légère variation de pente trouvée vers 200 v. sur la courbe 126 qui également ne peut être retrouvée après le chauffage.

Aucun autre accident n'est montré sur les courbes dans les intervalles étudiés, jusqu'à une cassure faiblement marquée dans toutes les catégories sur la fig. 10 aux environs d'une tension primaire de 512 v.

En principe, nous avons limité à 600 v. le domaine de notre étude; néanmoins quelques valeurs furent relevées au delà pour situer le maximum d'émission secondaire. Ces mesures moins précises et moins complètes que les précédentes, nous montrent une cassure à 750 v. environ, nettement marquée et qui put être retrouvée sur les 3 seules courbes relevées dans cette région. Le rapprochement des courbes des fig. 10 et 11 permet de situer le maximum de l'émission secondaire vers 600 v. Ce maximum fut trouvé, dans les mêmes conditions, voisin de 1,275 pour les courbes à froid A, de 1,30 pour les courbes relevées vers la cible à 4.100° k. et de 1,305 pour les courbes relevées à 4.400° k.

EXAMEN DES RÉSULTATS TROUVÉS AVEC LES APPAREILS I ET III

Cible Si. 18 dans le tube I. — Comme nous l'avons indiqué plus haut, par suite d'un accident, seules purent être relevées des courbes avec la cible froide et sans que celle-ci n'ait subi aucun traitement depuis le scellement de l'appareil. En comparant ces courbes entre elles, on remarque une possibilité



de reproduire les résultats à froid, analogue à ce que nous avons constaté dans la cible Si. 18 dans l'appareil II.

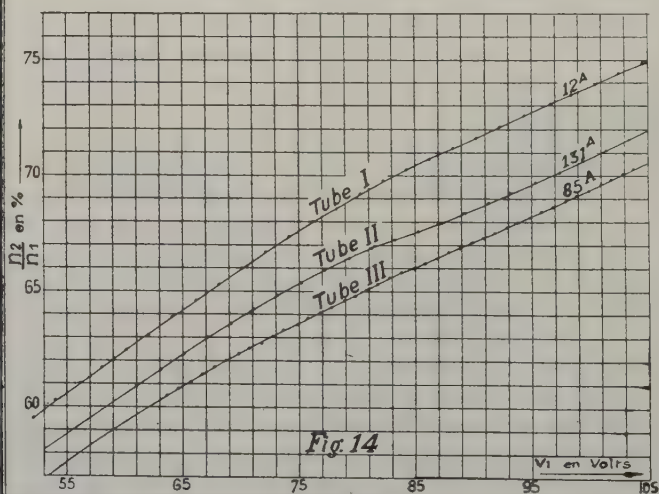
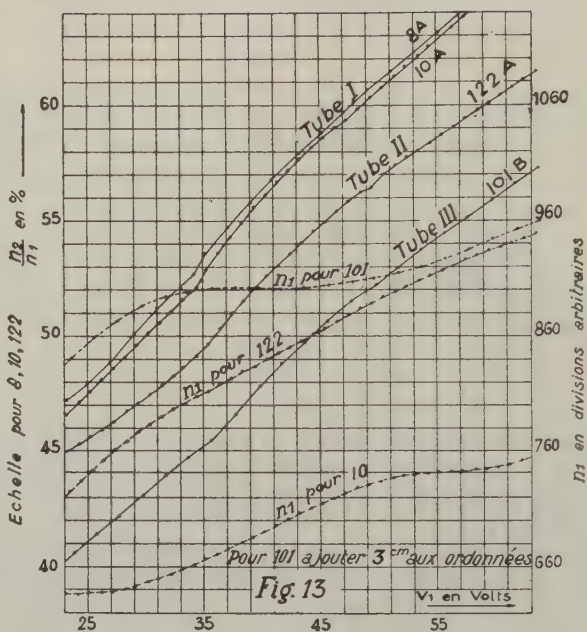
Cible Si. 19 dans le tube III. — Ici, des mesures furent effectuées à froid (catégorie A du tube II) et à chaud : à 1.050° k. (catégorie B) à 1.380° k. (sensiblement catégorie D du tube III). On a trouvé une possibilité de reproduction à froid et à chaud du même ordre que les précédentes ; néanmoins il convient de signaler que les différences trouvées entre les ordonnées de courbes de différentes catégories étaient légèrement plus élevées que dans les deux autres appareils.

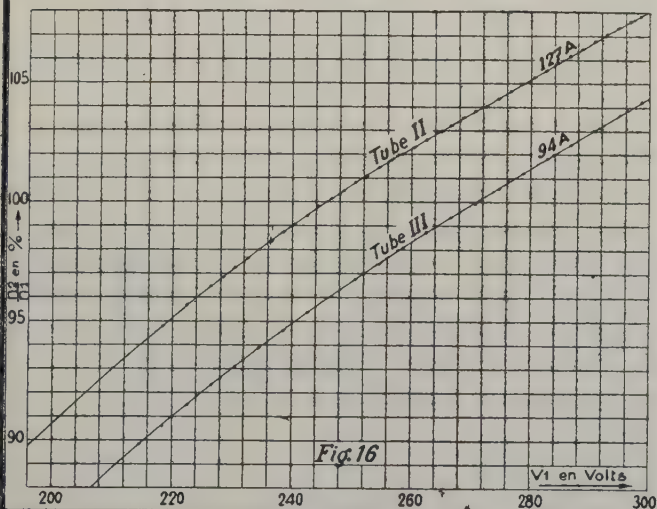
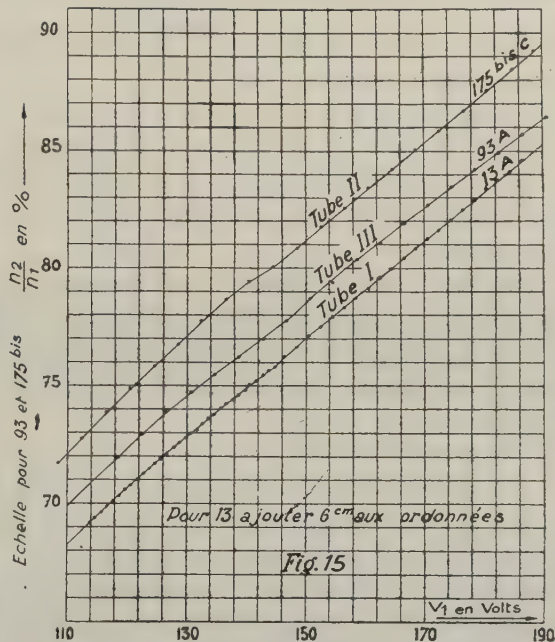
Comparaison avec les courbes du tube II. — Dans les fig. 12, 13, 14, 15 et 16 nous avons dessiné quelques courbes des tubes I et III avec des courbes du tube II. Pour en rendre la comparaison plus immédiate, ces courbes ont été tracées, non pas par rapport au négatif des cathodes F_1 , mais par rapport au potentiel des milieux de ces filaments.

Entre les courbes des tubes I, II, III, il n'y a pratiquement aucune différence de forme importante, surtout si l'on tient compte que les courbes $N_1 = f(V_1)$ (données pour les trois tubes en pointillés dans les cas les plus caractéristiques), sont totalement différentes.

Les accidents de pente trouvés pour les courbes A dans l'appareil I furent retrouvés pour le tube II, sauf toutefois ceux de 118 v. et 200 v. En particulier un fléchissement de la pente est très nettement marqué sur la fig. 12 vers 15 v. 5 (la différence des tensions provient du décalage de $\frac{U_I}{2}$ pour toutes les courbes).

Sur la fig. 12 à l'accroissement du 23 v. pour le tube II correspond également pour I un accident analogue, les variations de pente des régions de tension plus élevées sont retrouvées de la même façon et il nous semble tout à fait important de signaler *qu'aucun autre accident d'intensité pratiquement apprê-*





ciable n'est trouvé sur les courbes A de I, autres que ceux qui sont indiqués pour le tube II.

L'allure générale des courbes du tube III est également celle des courbes du tube II et il nous faut indiquer qu'à froid et à chaud, on retrouve pour cette *nouvelle cible* et dans cet *appareil différent*, les accidents signalés dans les expériences précédentes.

Dans le tableau 2, sont indiquées les valeurs observées de la tension primaire où nous avons trouvé des accidents de pente pour les 3 cas indiqués (également, nous y avons mentionné ceux trouvés plus loin, dans la région des faibles vitesses, étudiée dans le chapitre VI).

Dans la deuxième colonne de ce tableau, nous avons fait une correction pour tenir compte de la chute de tension le long du filament. Deux autres corrections seraient nécessaires pour préciser la vitesse des électrons primaires.

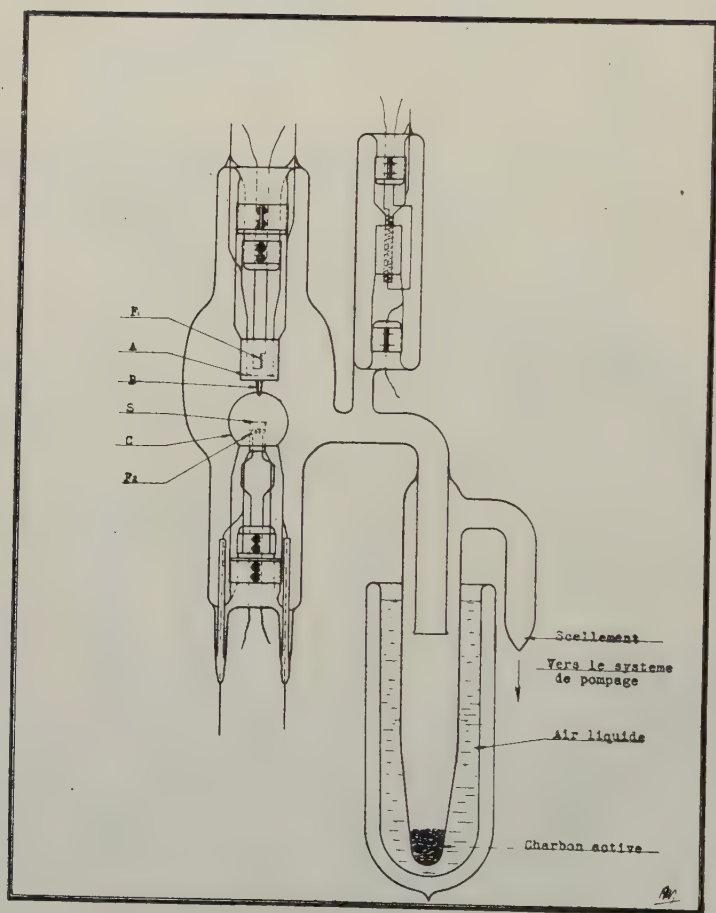
L'une est relative à la différence de potentiel de contact qui doit exister entre la cathode et la cible : bien que les électrodes soient constituées par le même métal, elle n'est certainement pas nulle à cause des traitements thermiques différents qui leur ont été imposés et de leur différence de température.

L'autre provient de la vitesse de sortie des électrons de la cathode : Ceux-ci ne se présentent pas tous d'une façon semblable à l'influence du champ créé par V_1 car, ils sont émis, à une température donnée, avec des vitesses différentes groupées autour d'une valeur moyenne suivant la loi de Maxwell.

Je n'avais aucun moyen d'obtenir expérimentalement la valeur des erreurs introduites en négligeant ces corrections, mais elles sont faibles et vraisemblablement de l'ordre, au total, de quelques dixièmes de volt.

TABLEAU 2

V_i	V_{ir}	forme de l'accident
<u>CIBLE SI.18 - TUBE 2</u>		
3,7		min par cassure
5,25		cassure
8,4		d°
12,2		d°
17	15,7	fléchissement de la pente
25	23,7	augmentation rapide de la pente
38	36,8	d°
50	48,8	d°
88	86,4	d°
146	144,8	d°
512 ± 2^v	env. 512	d°
600 ± 3^v	■ 600	max
750 ± 4^v	■ 750	augmentation rapide de la pente
<u>CIBLE SI.18 - TUBE 1</u>		
pas de mesure avant 12^v		
16	14,6	fléchissement de la pente
24	22,6	augmentation rapide de la pente
36	34,7	d°
49	47,7	d°
88,4	87,1	d°
142	env. 142	d°
510	■ 510	cassure
590	■ 590	max
<u>CIBLE SI.19 - TUBE 3</u>		
pas de mesure avant 13^v		
14,25	13,1	fléchissement de la pente
25	23,9	augmentation rapide de la pente
37	35,9	d°
51	49,9	d°
87,3	86,2	d°
148	146,85	d°
env 510	env 510	d°
■ 596	■ 596	max.



CHAPITRE IV

Discussion des résultats précédents

a) INFLUENCE DU CHAUFFAGE. — La conclusion des expériences précédentes est que nous avons trouvé et reproduit un état de surface stable, pour une cible de Tantale, qui est tel que le temps et la chaleur sont sans action notable sur l'émission secondaire de cette cible. Les valeurs de celle-ci sont en effet *reproductibles sur la cible elle-même* dans des expériences différentes et sur des cibles identiques dans des appareils distincts. Les courbes obtenues caractérisent donc cet état bien déterminé de la surface du métal étudié.

Ce que l'on sait, à l'heure actuelle, de l'occlusion et de la fixation des gaz par les métaux, plus particulièrement les faits connus à ce sujet pour le Tantale, ainsi que les données que l'on possède sur sa dégazéification ⁽¹⁾, nous font affirmer que malgré le traitement énergétique que nous avons fait subir aux cibles et le très bon degré de vide dans lequel le métal a été conservé, on ne peut songer *et de beaucoup* à considérer la surface comme étant complètement exempte de gaz.

Néanmoins on doit penser qu'une grande partie de ceux-ci, retenus à l'état ordinaire par le Tantale, a été éliminée puisque le chauffage ne modifie pas sensiblement la valeur de $\frac{N_2}{N_1}$.

⁽¹⁾ Voir, par exemple, au sujet de la contamination du Tantale par les gaz et du dégazage de ce métal : les travaux de CARDWELL (16) et de BECKER (17).

En effet, rien, dans les hypothèses que l'on peut faire à la base des théories de l'émission secondaire, ne conduit à trouver ce phénomène fonction de la température (du moins dans les limites accessibles ici) pour un métal parfaitement dégazéifié intérieurement et en surface. Mais l'invariabilité de l'émission secondaire n'est qu'une condition nécessaire pour prouver la propreté d'une cible : elle ne semble pas être suffisante. Nous pensons qu'elle caractérise seulement la stabilité de l'état créé et que, par suite, elle doit être en rapport avec les propriétés de fixation des gaz par le Tantale sous pression faible.

Avant de faire quelques remarques sur l'état de propreté probable des cibles dans nos expériences, nous soulignerons ce qu'ont de particulier les résultats trouvés plus haut, en les rapprochant de quelques chiffres indiqués par Hyatt et Smith (18) pour le Mo et par Krefft pour le W.

Krefft signale que pour une cible en tungstène préalablement chauffée à 4.200° k, laissée froide et portée à 4.450° k, $\frac{N_2}{N_1}$ passait en quelques heures de 1,2725 à 1,3975 pour une tension accélératrice de 600 v., c'est-à-dire variait d'environ 9 % de la valeur à froid. Dans une expérience identique effectuée avec l'appareil II, la cible Si 18, après avoir été chauffée à 4.100° k pendant 4 heures puis laissée froide pendant 15 heures, fut portée à 4.380° k, il fut alors trouvé, après 1 h. 15. de chauffage à cette température, que $\frac{N_2}{N_1}$ n'augmentait plus ; de 1,272 le rapport était passé à 1,297, c'est-à-dire qu'il avait subi une variation d'environ 2 % de sa valeur à froid. Un chauffage ultérieur de 20 minutes à 4.420° k n'apportait aucun changement appréciable pendant qu'il était effectué.

Dans leur étude de l'émission secondaire du molybdène, faite d'ailleurs par une méthode et avec un appareillage tout à fait différents, Hyatt et Smith ont constaté une variation analogue et d'un ordre de grandeur plus voisin de celui que

nous avons indiqué : Ils signalent en effet une augmentation de 3,6 % pour une tension primaire de 300 v. quand on chauffe la cible en molybdène à 1.600° k.

Bien que les variations trouvées dans nos expériences soient très faibles et que par suite, il soit un peu aléatoire de prendre leurs signes en considération, il faut remarquer, néanmoins, qu'en chauffant la cible, l'émission secondaire semble diminuer pour les petites vitesses et augmenter pour les grandes, ce qui est exactement le sens de variation indiqué par Krefft. Un phénomène plus complexe fut trouvé au refroidissement du métal : immédiatement après chauffage, nous avons en effet, constaté et vérifié que $\frac{N_2}{N_1}$ ne diminuait pas, mais au contraire croissait encore légèrement pendant 30 à 40 minutes, puis reprenait lentement le sens indiqué plus haut. Nous n'avons trouvé aucune explication convenable de ce phénomène net mais de faible importance.

Pour terminer avec les rapprochements de travaux similaires, nous signalerons que Ramachandra-Rao dans son étude du nickel n'a observé aucun changement introduit par le chauffage de la cible sur la forme de la courbe. Mais il est légitime alors, de faire remarquer qu'il n'avait employé que des températures relativement basses (550° C).

Cette réserve sur l'insuffisance de température de la cible, pendant les mesures, peut être faite également au sujet de nos résultats. Des températures plus élevées ne furent pas employées par suite des complications qu'elles auraient amenées dans nos expériences : En premier lieu, l'émission thermoionique ordinaire devient rapidement très importante quand on augmente la température et les corrections deviennent de plus en plus délicates si on veut garder une grande précision pour comparer les résultats avec ceux trouvés pour la cible froide (l'émission est de l'ordre de 5 à 6 microampères/cm² vers 1.500° k). D'autre part, l'énergie rayonnée par la cible augmente très rapidement et nous étions limités par la crainte de

libérer ainsi des gaz à partir des parties solides difficilement purgeables telles que les entrées de courant.

Il est particulièrement difficile, pour le Tantale, d'avoir une idée juste de la condition de propreté pendant les mesures à chaud :

Si en effet quelques résultats ⁽¹⁾, susceptibles d'être pris en considération presque immédiate comme ceux d'Andrews (20) sur la fixation de certains gaz *sous pression faible* sont connus dans des cas simples, ce problème dans le cas ordinaire d'un mélange de gaz dans un *vide élevé* est encore mal défini.

D'une façon générale, il semble que la fixation en question pour le Tantale propre soit peu solide aux faibles températures (1.000° k).

On pense qu'il s'agit de gaz adsorbés ou absorbés superficiellement qu'il est possible d'éliminer par un chauffage tel que ceux employés au cours de nos expériences. Par contre lorsque le métal se trouve porté à des températures de 1.400 à 1.500° k, un nouveau mécanisme de fixation semble intervenir beaucoup plus intime et plus solide. Bien entendu, la pression dans laquelle se fait la contamination, intervient en premier chef et celle-ci est d'autant plus faible que le vide *maintenu* dans l'enceinte est meilleur. Nous pensons donc pouvoir conclure, à cause du degré de vide élevé entretenu par le charbon de notre appareil, que l'état de surface à froid, lorsque les courbes A, C et E furent relevées ou à température moyenne

(1) Peu de données précises existent sur cette fixation fort complexe dans le cas général. La température à laquelle elle se produit de la façon la plus intense dépend de la température et de la durée du dégazage initial ainsi que de la pression sous laquelle cette fixation s'effectue.

En outre des renseignements particulièrement intéressants d'ANDREWS, (parce que relatifs aux actions sous basses pressions) et des travaux déjà cités de CARDWELL et de BECKER, quelques renseignements susceptibles d'être pris en considération peuvent être trouvés dans les travaux suivants relativement à l'action des gaz vis-à-vis du Tantale : voir (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25).

(courbe B et D, caractérise une surface de Ta *relativement propre*, contaminée seulement par des molécules de gaz fixées si solidement qu'il n'est possible de les éliminer qu'à des températures très élevées qui ne permettent pas de mesures précises d'émission secondaire. Mais il est difficile de se prononcer sur la propreté relative de la cible dans les différentes catégories de mesures.

Pour en terminer avec les hypothèses faites au sujet de l'état probable des cibles, nous dirons qu'au point de vue de la cristallisation, dont l'importance a été mise en évidence par certains travaux de Farnsworth (10) et de Ramachandra-Rao, (12) il faut admettre que la structure confuse et mal déterminée que l'on peut supposer pour la surface après sa métallurgie et son polissage a fait place, au moment de nos mesures, à une texture cristalline relativement bien indiquée par suite du traitement thermique prolongé effectué.

b) ACCIDENTS ET DISCONTINUITÉS DANS LA VARIATION DE $\frac{N_2}{N_1}$ AVEC V_1 .

RAPPROCHEMENT AVEC LES POTENTIELS CRITIQUES DES RAYONS X. — Parmi les accidents mentionnés dans le tableau II, plusieurs possèdent la forme particulière d'une augmentation brusque de pente. La forme de pareils accidents, traduisant un phénomène discontinu dans la production des électrons secondaires a suggéré à certains auteurs (Pétry semblant être le premier) un rapprochement avec les potentiels critiques des rayons X.

Au sujet du Tantale, les résultats d'expériences sont peu nombreux, néanmoins C. Boyce (26) a tracé les courbes donnant en fonction de la tension excitatrice l'effet photoélectrique de la radiation par unité de courant électronique. Les variations de pente de ces courbes furent prises pour indiquer les potentiels critiques d'émission X.

Pour la comparaison des potentiels critiques d'émission X

et d'émission secondaire, on remarquera que, pour une flexion ayant lieu pour une vitesse de V volts sur une courbe d'émission secondaire (corrigée bien entendu pour la différence de

TABLEAU 3		
potentiels critiques d'émission second. ^{re}	potentiels critiques de rayons x	
valeurs corrigées	val. non corrigées	valeurs corrigées
15,7		
23,7		
36,8	38	42
48,8	47	51
86,4	77	81
144,8		
	180	184
	377	381
env. 512	514	518
env. 600		
	666 ?	670 ?
env. 750		
	1370 ?	1374 ?

potentiel de contact entre la cible et la cathode, pour la chute de tension le long du filament et pour la vitesse de sortie des électrons de la cathode), s'il existe une flexion correspondante

dans les courbes d'émission X, on doit la trouver dans ces dernières pour une tension, $V + \Phi$, Φ étant le travail de sortie de la cible en Tantale.

Dans le tableau 3, nous avons donné les résultats de Boyce corrigés et non corrigés en regard des valeurs des potentiels critiques observés dans nos courbes. La valeur de Φ admise ici est 4 v. Ce chiffre correspond en effet, approximativement à la moyenne des valeurs très voisines de la fonction de travail du Ta, trouvées par différentes méthodes et signalées par S. Dushman (*Rev. Modern Phys.*, vol II, p. 384, 1930) dans son étude générale de l'émission électronique.

Les 2 premiers chiffres indiqués par Boyce s'accordent avec des valeurs de potentiels critiques trouvées dans notre travail et il existe également un accident dans les deux phénomènes vers 512 v. (encore faut-il noter que les valeurs de Boyce non corrigées conviennent mieux que les valeurs corrigées). Les autres diffèrent très sérieusement et il n'est possible, par suite, de tirer aucune conclusion utile, bien que, si l'on excepte les valeurs douteuses, 50 % des accidents soient approximativement en rapport. Étant donné la difficulté qu'il y a pour obtenir des valeurs précises pour les potentiels critiques des rayons X, le rapprochement avec d'autres valeurs que celles de Boyce serait souhaitable, malheureusement ce métal a été peu étudié à ce sujet.

La relation, dans ce domaine de tension accélératrice, entre les potentiels critiques d'émission X et les niveaux d'énergie atomiques, a été discutée d'une façon générale par quelques auteurs⁽¹⁾ et cela fut fait en particulier par Boyce pour le Ta. Nous ne reprendrons pas cette question à laquelle nous ne saurions ajouter quelque chose de nouveau.

Deux accidents rencontrés dans la région étudiée semblent être étrangers aux précédents. Le fléchissement de la pente

(1) Voir principalement les travaux de Richardson (2) qui introduisent une image nouvelle de la structure des cristaux.

vers 17 v. peut s'expliquer en tenant compte que dans la région des faibles vitesses l'émission secondaire totale se compose de deux sortes d'électrons.

1^o électrons primaires réfléchis sans perte appréciable de vitesse et dont le nombre décroît très rapidement quand la vitesse primaire augmente.

2^o électrons lents, produits par un mécanisme différent (véritables électrons secondaires) et dont le nombre augmente quand la tension croît.

Si l'on admet que le nombre des électrons de la deuxième catégorie peut, dans la région considérée, augmenter moins rapidement que ne décroît celui du premier groupe, on a l'explication de la forme de la courbe.

Sans vouloir entrer dans les considérations théoriques précises, nous pensons que l'existence d'un maximum dans l'émission secondaire trouve son origine à partir de deux causes principales :

En premier lieu, au fur et à mesure que la tension augmente, la pénétration à l'intérieur du métal s'accroît : il est alors possible que les électrons secondaires, libérés dans les couches profondes, ne possèdent plus une énergie suffisante pour ressortir du métal par suite des pertes subies dans les collisions à l'intérieur de la cible, pertes qui apparaissent en fin de compte comme énergie Joule. D'autre part, il est logique d'admettre que, lorsque l'énergie primaire augmente le rendement de conversion en électrons secondaires, pour un groupe d'atomes donné, diminue.

c) FORME GÉNÉRALE DE LA COURBE D'ÉMISSION SECONDAIRE.

— La forme générale de la courbe est indiquée sur la fig. 20. Son allure est tout à fait proche de celle trouvée par Pétry, par Farnsworth et par Krefft pour le W, élément voisin. Elle est approximativement en accord avec celle que l'on peut attendre d'après les théories récentes développées sur les bases des mécaniques nouvelles de l'électron (27).

CHAPITRE V

Vitesses des électrons secondaires du Tantale

L'appareil réalisé pour étudier les variations de $\frac{N_2}{N_1}$ avec la tension primaire, permet d'étudier la répartition des vitesses des électrons secondaires pour une vitesse primaire donnée.

Entre la sphère collectrice et la cible, nous avons produit dans les expériences précédentes un champ électrique faiblement accélérateur, pour recueillir tous les électrons secondaires émis. Si l'on rend ce champ retardateur, en changeant le signe de la différence de potentiel et si l'on fait croître la valeur absolue de celle-ci depuis 0, la sphère collectrice ne recueille que des électrons de vitesse supérieure ou au moins égale à celle qui correspond à la différence de potentiel retardatrice V_2 .

La courbe $\frac{N_2}{N_1} = f(V_2)_{V_1 = \text{cte}}$ traduit donc la loi de répartition de l'énergie des électrons secondaires.

Quoique faible, la chute de tension le long du filament F_1 (source des électrons primaires) est un obstacle gênant pour l'étude de la répartition des vitesses des électrons secondaires produits par des électrons *primaires peu rapides*, parce que le faisceau est alors *relativement* peu homogène.

La fig. 17 montre des courbes obtenues après le traitement

à 1.400° sur le cible Si. 18 dans le tube II et relative à des tensions accélératrices de $V_1 = 10 \text{ v. } 5, 30 \text{ v. } 6 \text{ et } 150 \text{ v. } 2$.

J'ai constaté que N_1 restait sensiblement constant quand le champ retardateur produit par V_2 variait ; on a ainsi l'assurance que la relation $\frac{N_2}{N_1} = f(N_1)$ n'a pas déformé les courbes de répartition d'énergie.

La courbe tracée pour $V_1 = 10 \text{ v. } 5$ n'a pas sur la figure la forme qu'elle devrait avoir ; on doit penser que si tous les électrons constituant le faisceau primaire avaient la même vitesse la forme serait sensiblement rectangulaire. Au fur et à mesure que la tension augmente, la comparaison des courbes montre que le nombre d'électrons rapides (et que l'on peut supposer être des électrons primaires réfléchis) diminue, pendant qu'un nombre de plus en plus grand d'électrons lents (arrêtés par des champs retardateurs faibles), est produit. L'évolution de la composition de l'émission secondaire totale est ainsi nettement caractérisée, bien que la courbe pour $10 \text{ v. } 5$ ne soit pas très significative.

La courbe tracée pour une tension accélératrice de $10 \text{ v. } 5$ s'arrête pour $V_2 = 9 \text{ v. } 85$, celle tracée pour $V_1 = 30 \text{ v. } 6$ s'arrête pour $29 \text{ v. } 8$, celle tracée pour $150 \text{ v. } 2$ s'arrête pour $149 \text{ v. } 5$. La différence entre la vitesse des électrons primaires et secondaires les plus rapides, est donc ainsi sensiblement constante et voisine de $0 \text{ v. } 5$ à $0 \text{ v. } 7$. Ce chiffre doit représenter approximativement la différence de potentiel de contact entre le Ni de la sphère et le Ta de la cathode, il peut d'ailleurs, être trouvé à partir des courbes tracées pour la cible Si. 18 dans le tube I de la fig. 18 pour des vitesses primaires de $4 \text{ v. } 5, 8 \text{ v. } 2, 10 \text{ v.}$ et $15 \text{ v. } 4$

L'évolution de la forme est visible, ici également, au fur et à mesure que la contribution respective des deux groupes d'électrons se modifie. Nous remarquerons, en passant, qu'aux environs de 15 v. le nombre des électrons relativement rapides est encore important.

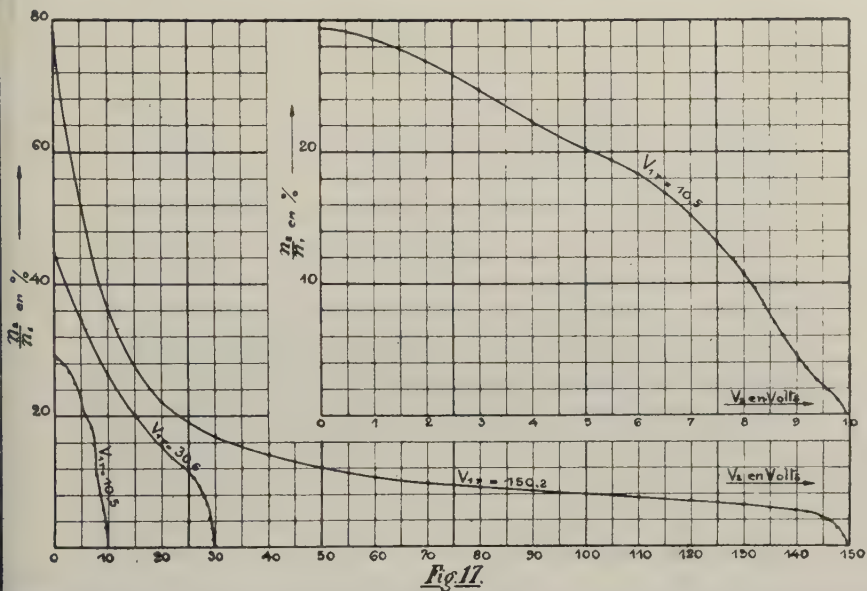


Fig. 17.

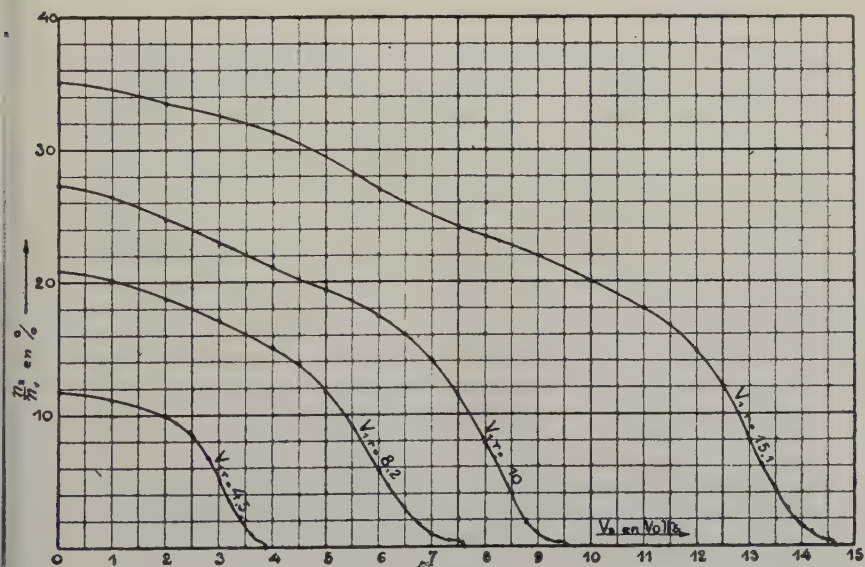


Fig. 18.

Des courbes de vitesses ont été prises dans chaque catégorie, pour suivre l'influence du chauffage et du temps : ici également les résultats diffèrent peu. Par suite de la faible variation trouvée, il est très difficile d'être affirmatif, mais la déformation des courbes semble indiquer que, lorsque la charge de gaz est plus grande, le nombre d'électrons ayant des faibles vitesses augmente et que celui des électrons rapides diminue. Ces évolutions sont dans un rapport variable, tel que l'effet total reste soumis au sens trouvé plus haut quand V_1 varie.

Cette conclusion est en accord avec celles que Soller (28) a développées à la suite de son travail précis effectué sur le molybdène, au moyen d'une méthode de déviation magnétique. La forme des courbes données ici pour le Tantale rappelle très sérieusement celle que Farnsworth a indiquée pour le Cu (8).

CHAPITRE VI

Coefficient de réflexion et accidents de pente dans la région des très faibles vitesses

La fig. 49 montre la variation de $\frac{N_2}{N_1}$ avec V_1 entre 0 et 15 v. pour la cible Si.18 dans le tube II.

Des cassures sont trouvées pour $V_1 = 3$ v. 7, 5 v. 25, 8 v. 4, 12 v. 2 (1). A part celui de 5 v. 25 qui est plus faible, les autres accidents sont nettement indiqués. La cassure de 3 v. 7 est extrêmement importante et se traduit par un minimum très accentué. En allant depuis cette valeur vers 0, on constate que la courbe remonte très rapidement et il est difficile de dire vers quelle valeur elle tend expérimentalement lorsque le voltmètre V_1 indique 0, car d'une part, la sensibilité du galvanomètre devient insuffisante dans cette région et parce que d'autre part, au 0 même, le courant primaire est rigoureusement nul.

Cette forme anormale de la courbe avant 3 v. 7 a déjà été trouvée par Farnsworth et Goerke (29) pour une cible en cuivre. Ces auteurs attribuent cette allure à la différence de potentiel de contact entre la cible et les électrodes qui l'entourent. La grande valeur du coefficient de réflexion ainsi trouvée avant 3 v. 7 ne serait donc qu'apparente, mais la construction de notre

(1) La cassure de 12,2 nettement indiquée ici, ne fut retrouvée par la suite qu'avec une faible importance, elle n'est pas visible sur la courbe 153 de la fig. 3 ; sa réalité est douteuse.

appareil ne nous a pas permis de déterminer la valeur de la correction nécessaire.

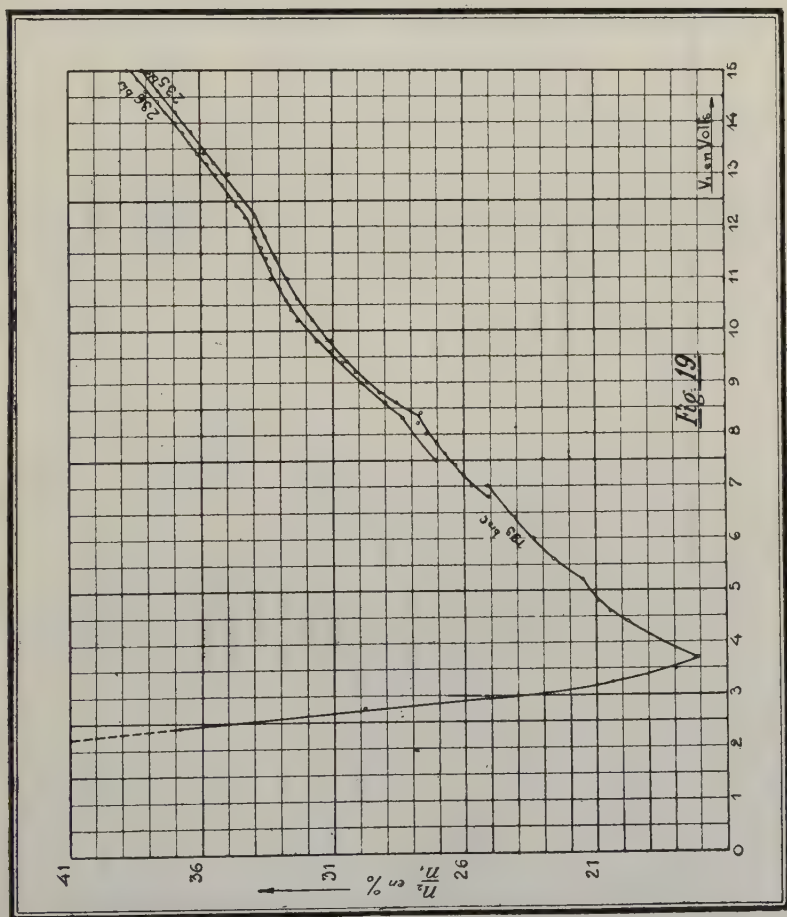
Dans le tableau 2, nous avons séparé les accidents montrés par la fig. 19 des autres déjà signalés, parce que nous pensons qu'ils sont relatifs à un phénomène différent. Il est en effet probable que dans la région en question, l'émission secondaire totale se compose presque uniquement d'électrons réfléchis. Par suite il est logique d'attribuer les accidents en question à un phénomène de réflexion simple et non pas au phénomène de production d'électrons lents (véritables électrons secondaires).

Quelques auteurs ont émis l'hypothèse ⁽¹⁾ que les accidents rencontrés dans cette région pouvaient être produits par les faisceaux de diffraction. Cela a été indiqué notamment par Ramachandra-Rao dans son étude sur le nickel, effectuée avec un appareil d'une construction voisine de celui employé ici. L'électrode collectrice recevant à la fois tous les électrons venant de la cible et émis dans toutes les directions par celle-ci, nous ne pensons pas que les phénomènes de diffraction puissent être relativement assez intenses pour produire des cassures aussi importantes que celles montrées par les courbes de notre travail.

De même que dans l'étude de la distribution des vitesses des électrons secondaires, le fait que le faisceau était relativement peu homogène pour les faibles vitesses primaires, est ici très gênant pour permettre de donner aux accidents trouvés un emplacement réel précis. Les vitesses des différents électrons constituant le faisceau primaire se répartissent entre la vitesse qui correspond à V_1 et à celle qui correspond à $V_1 - V_f$. Au voisinage de $V_1 = 3 \text{ v. } 7$, les électrons les moins rapides du faisceau commencent à retourner vers la cible, on doit donc admettre que celle-ci est alors négative par rapport au + de la

⁽¹⁾ Voir en particulier l'étude d'un cristal de cuivre par FARNSWORTH (3) et celle du Cobalt par DAVIS (30).

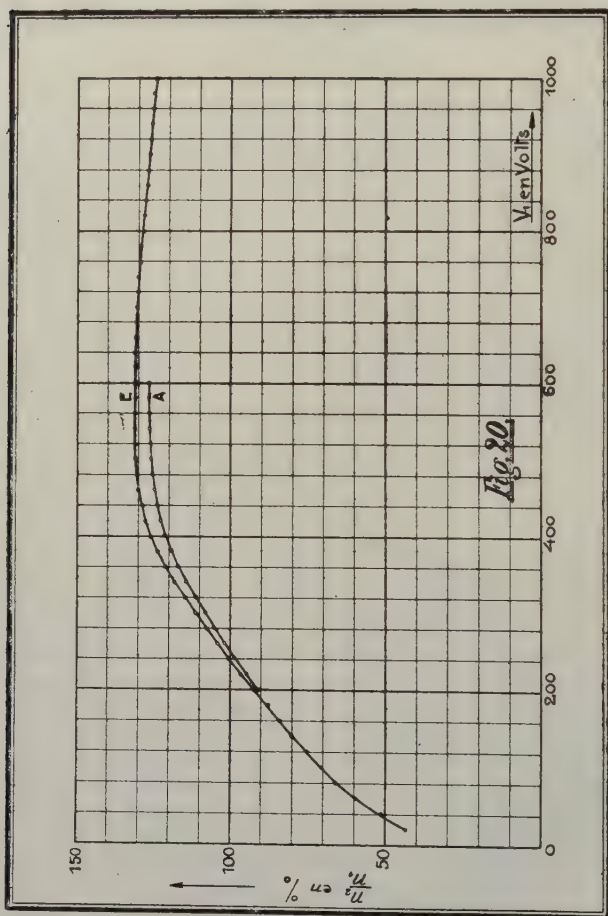
cathode (point d'où sont émis les électrons les moins rapides). Étant donné que la chute de tension U_f était pour la courbe 193 bis 3 v. 3 et que cette courbe se relève vers 3 v. 7, la différence



doit être voisine de la différence de potentiel de contact entre la sphère de Ni et la cible de Ta.

On est par suite amené à admettre que cette différence de potentiel Ni — Ta est voisine de 0 v. 4, ce qui est convenable.

L'action du temps et celle de la température furent ici étudiées comme dans les autres régions, aucun fait nouveau ne



fut trouvé : En particulier, aucun déplacement appréciable du minimum ne fut observé, ce qui aurait traduit une variation de la différence de potentiel de contact et par suite une modification de l'état de surface.

CONCLUSIONS

En évitant soigneusement toute considération théorique, il a été établi, dans l'étude présente, les résultats suivants :

a) L'émission secondaire du Ta, examinée dans le détail, ne varie pas régulièrement quand on augmente la tension accélératrice des électrons de bombardement. On obtient des accidents, dans les courbes d'émission secondaire totale, dont nous indiquons la position.

b) La forme générale des courbes est très proche de celle trouvée pour le tungstène, élément voisin.

c) Il a été constaté que l'on peut obtenir des résultats reproductibles auxquels le temps et le chauffage n'apportent pas de changement appréciable : Ceci caractérise une stabilité d'état de surface, pour le Ta dans un vide élevé, en relation avec les propriétés chimiques, vis-à-vis des gaz, de ce métal sous très faible pression. Par suite, les accidents trouvés peuvent être supposés relatifs à une surface de Ta ayant à sa surface une contamination faible, mais stable.

d) Dans la région où il est admissible qu'en grande partie, l'émission secondaire totale se compose d'électrons libérés par une radiation corpusculaire caractéristique quelconque, excitée dans les atomes de la cible par le faisceau primaire (ou produits par la collision des électrons primaires avec les électrons libres du métal ainsi qu'avec les atomes de gaz présents à la surface) un rapprochement des accidents trouvés avec les

potentiels critiques des rayons X indiqués par Boyce n'est pas concluant car, si quelques valeurs coïncident d'une façon intime qui ne semble pas dûe au hasard, une différence importante existe entre les autres.

e) De nouvelles recherches devront être effectuées à ce sujet, *en étudiant les deux phénomènes sur le même échantillon et dans les mêmes conditions de dégazéification intérieure et superficielle*, pour affirmer ou contredire la relation avec les potentiels critiques de rayons X, relation sur laquelle on base actuellement de nombreuses considérations théoriques.

De même, un appareillage avec lequel l'observation des faisceaux de diffraction serait possible, permettrait de voir si, comme quelques auteurs l'affirment, les phénomènes sont en relation intime.

f) Des courbes de vitesse sont obtenues, elles sont de la même forme que celles trouvées pour d'autres métaux et confirment ce que le professeur Richardson a indiqué au sujet de la contribution des électrons réfléchis à l'émission secondaire totale.

L'influence de la teneur en gaz sur la répartition des vitesses des électrons secondaires est faible, le sens trouvé pour le Ta s'accorde avec les conclusions de Soller pour le Mo : le groupe à grande vitesse (électrons réfléchis) est plus important quand la cible est plus propre.

g) On a observé l'existence d'un coefficient de réflexion très élevé pour les très petites vitesses. La considération de la différence de potentiel de contact entre la cathode et la cible semble montrer qu'il n'est qu'apparent.

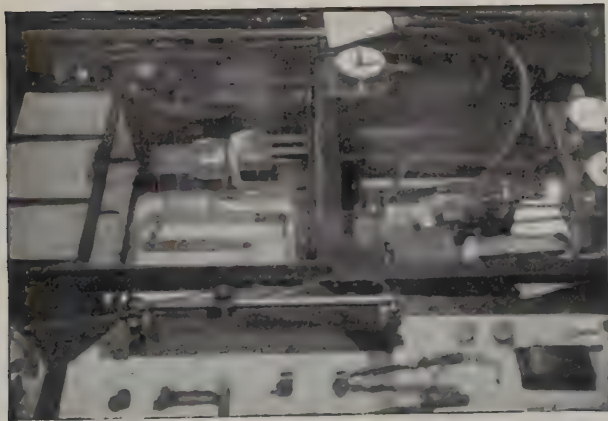
Je prie Messieurs les Professeurs E. Bloch, A. Guillet et E. Darmois de la Faculté des Sciences de Paris, d'accepter mes plus sincères remerciements pour avoir bien voulu prendre ce travail en considération.

Cette étude a été faite dans les Laboratoires de recherches de la Société « La Radiotechnique » dont je prie le Directeur Général, Monsieur Damelet, de vouloir trouver ici l'assurance de ma profonde reconnaissance pour les autorisations qu'il a bien voulu m'accorder et pour les moyens dont j'ai pu ainsi disposer.

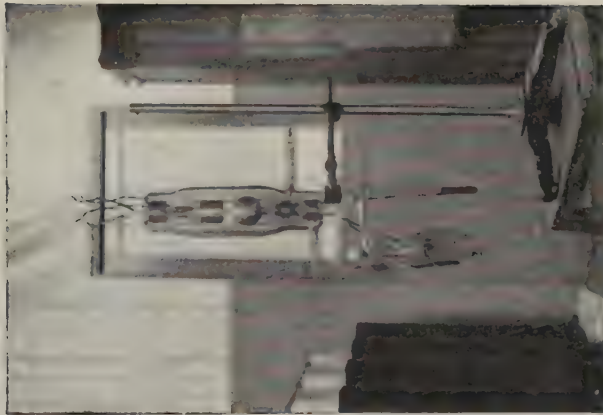
J'espère que Monsieur Ponte, Ingénieur en chef des Laboratoires de la Compagnie Générale de Télégraphie sans fil, voudra bien également accepter tous mes remerciements pour les conseils précieux, les suggestions utiles et les encouragements qu'il a bien voulu me donner au cours de ce travail ainsi que pour la mise à ma disposition de l'appareillage nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) O.W. RICHARDSON. — *Proc. Roy. Soc. A.*, vol. 119, p. 531, 1928.
- (2) O. W. RICHARDSON. — *Proc. Roy. Soc. A.*, vol. 128, p. 63, 1930.
- (3) H. E. FARNSWORTH. — *Phys. Rev.*, vol. 34, p. 679, 1929.
- (4) E. RUDBERG. — *Proc. Roy. Soc. A.*, vol 121, p. 421, 1928.
- (5) F. C. CHALKIN. — *Science Progress*, vol. 26, n° 103, page 433, 1932.
- (6) R. L. PÉTRY. — *Phys. Rev.*, vol. 26, page 346, 1925.
- (7) R. L. PÉTRY. — *Phys. Rev.*, vol. 28, page 362, 1926.
- (8) H. E. FARNSWORTH. — *Phys. Rev.*, vol. 25, page 41, 1925.
- (9) H. E. FARNSWORTH. — *Phys. Rev.*, vol. 27, page 413, 1926.
- (10) H. E. FARNSWORTH. — *Phys. Rev.*, vol. 31, page 419, 1928.
- (11) H. E. KREFFT. — *Ann. der. Physik.*, vol. 84, page 639, 1927.
- (12) S. RAMACHANDRA RAO. — *Proc. Roy. Soc. A.*, vol. 128, p. 41 et 57, 1930.
- (13) A. J. AHEARN. — *Phys. Rev.*, vol. 38, page 1858, 1931.
- (14) H. STARKE et M. BALTRUSCHAT. — *Physikalische Zeitschrift*, n° 20/21, 1922, page 403.
- (15) A. P. WORTHING. — *Phys. Rev.*, vol. 28, page 190 (et errata, p. 1331), 1926.
- (16) ALVIN B. CARDWELL. — *Phys. Rev.*, vol. 38, page 2.041, 1931.
- (17) K. BECKER. — *Physikalische Zeitschrift*, 15 juillet 1931.
- (18) J. M. HYATT et H. A. SMITH. — *Phys. Rev.*, vol 32 page 922, 1928.
- (19) A. SIEVERTS. — *Z. Metallkunde*, vol. 31, page 37, 1929.
- (20) Mary R. ANDREWS. — *The Journal of the American Chem. Soc.*, vol 54 p. 1845, 1932.



Système de pompage



Premier tube employé

BIBLIOGRAPHIE

- (1) O.W. RICHARDSON. — *Proc. Roy. Soc. A.*, vol. 119, p. 531, 1928.
- (2) O. W. RICHARDSON. — *Proc. Roy. Soc. A.*, vol. 128, p. 63, 1930.
- (3) H. E. FARNSWORTH. — *Phys. Rev.*, vol. 34, p. 679, 1929.
- (4) E. RUDBERG. — *Proc. Roy. Soc. A.*, vol. 121, p. 421, 1928.
- (5) F. C. CHALKIN. — *Science Progress*, vol. 26, n° 103, page 433, 1932.
- (6) R. L. PÉTRY. — *Phys. Rev.*, vol. 26, page 346, 1925.
- (7) R. L. PÉTRY. — *Phys. Rev.*, vol. 28, page 362, 1926.
- (8) H. E. FARNSWORTH. — *Phys. Rev.*, vol. 25, page 41, 1925.
- (9) H. E. FARNSWORTH. — *Phys. Rev.*, vol. 27, page 413, 1926.
- (10) H. E. FARNSWORTH. — *Phys. Rev.*, vol. 31, page 419, 1928.
- (11) H. E. KREFFT. — *Ann. der. Physik.*, vol. 84, page 639, 1927.
- (12) S. RAMACHANDRA RAO. — *Proc. Roy. Soc. A.*, vol. 128, p. 41 et 57, 1930.
- (13) A. J. AHEARN. — *Phys. Rev.*, vol. 38, page 1858, 1931.
- (14) H. STARKE et M. BALTRUSCHAT. — *Physikalische Zeitschrift*, n° 20/21, 1922, page 403.
- (15) A. P. WORTHING. — *Phys. Rev.*, vol. 28, page 190 (et errata, p. 1331), 1926.
- (16) ALVIN B. CARDWELL. — *Phys. Rev.*, vol. 38, page 2.041, 1931.
- (17) K. BECKER. — *Physikalische Zeitschrift*, 15 juillet 1931.
- (18) J. M. HYATT et H. A. SMITH. — *Phys. Rev.*, vol. 32 page 922, 1928.
- (19) A. SIEVERTS. — *Z. Metallkunde*, vol. 31, page 37, 1929.
- (20) MARY R. ANDREWS. — *The Journal of the American Chem. Soc.*, vol. 54 p. 1845, 1932.

- (21) TAMANN. — *Z. anorg. Chem.*, vol. 124, page 25, 1922.
 - (22) VON PIRANI. — *Z. Elektrochemie*, vol. 11, page 555, 1905.
 - (23) MUTHMANN, WEISS et RIEDELBAUCH. — *Ann. der Chemie*, vol. 355, page 58, 1907.
 - (24) SIEMENS et HALSKE. — *D. R. P.*, 216.706–1907 et *D. R. P.* 323.205–1913.
 - (25) VON BOLTON. — *Z. Elektrochemie*, vol. 11, page 45, 1905.
 - (26) C. BOYCE. — *Phys. Rev.*, vol 23, page 575, 1924.
 - (27) H. FRÖHLICH. — *Ann, der. Phys.*, vol. 13, page 229, 1932.
 - (28) T. SOLLER. — *Phys. Rev.*, vol- 36, page 1212, 1930.
 - (29) H. E. FARNSWORTH et V. H. GOERKE. — *Phys. Rev.*, vol. 36, page 1190, 1930.
 - (30) H. N. DAVIS. — *Nature*, n° 3.105, page 680, mai 1929.
-

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

AMÉLIORATION DU VIDE PAR DES PROCÉDÉS CHIMIQUES

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 31 Mai 1933.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

C. MAURAIN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

S. CHARLÉTY.

Saint-Amand (Cher). — Imprimerie R. Bussière. — 15-6 1933.
